



Penulis:

1. Maria Regina Tri Yonita
2. I Gede Andika Sukarya
3. Ifandari
4. Imam Agus Faizal

Imunoserologi dalam Diagnostik Laboratorium Medis



Imunoserologi dalam Diagnostik Laboratorium Medis

Maria Regina Tri Yonita

I Gede Andika Sukarya

Ifandari

Imam Agus Faizal

Editor: Larantika Hidayati



PT. Mustika Sri Rosadi

Imunoserologi dalam Diagnostik Laboratorium Medis

Penulis:

Maria Regina Tri Yonita; I Gede Andika Sukarya; Ifandari;
Imam Agus Faizal;

Editor: Larantika Hidayati

Layout: Tim PT. Mustika Sri Rosadi

Desain Sampul: Tim PT. Mustika Sri Rosadi

ISBN: 978-634-7535-91-7 (PDF)

Cetakan Pertama: 28 Mei 2026

Hak Cipta 2026

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

Diterbitkan oleh **Penerbit Mustika Sri Rosadi**

Anggota IKAPI No. 544/JBA/2026

Alamat:

Citra Indah City, Bukit Heliconia, Kec. Jonggol, Kab. Bogor.

Email: mars.mustikasrirosadi@gmail.com

Website: mustikamars.com

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku "Imunoserologi dalam Diagnostik Laboratorium Medis" ini dapat disusun dan diselesaikan. Buku ini dirancang sebagai sumber pembelajaran yang komprehensif bagi mahasiswa dan tenaga kesehatan dalam memahami prinsip dasar imunologi dan serologi dalam diagnostik, teknik deteksi antibodi dan antigen dalam laboratorium medis, imunoserologi dalam diagnosis penyakit infeksi, serta inovasi dan tantangan masa depan dalam imunoserologi klinis.

Dengan penyajian yang sistematis, buku ini diharapkan dapat menjadi referensi yang praktis dan aplikatif di dunia akademik dan klinis. Penulis menyadari masih terdapat kekurangan, untuk itu masukan dan saran dari pembaca sangat diharapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung tersusunnya buku ini. Semoga bermanfaat bagi pengembangan ilmu dan praktik di bidang kesehatan.

Bogor, 28 Mei 2026
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
PENDAHULUAN	1
BAB 1. PRINSIP DASAR IMUNOLOGI DAN SEROLOGI DALAM DIAGNOSTIK - Maria Regina Tri Yonita ..3	
A. Pendahuluan	3
B. Konsep Dasar Immunologi dan Serologi	3
C. Sistem Imun: Innate dan Adaptif	5
D. Antigen dan Antibodi	10
E. Reaksi Antigen dan Antibodi	14
F. Prinsip Dasar Serologi dalam Diagnostik	17
G. Aplikasi Immunoserologi Dalam Diagnostik	21
H. Penutup	26
I. Daftar Pustaka	27
BAB 2. TEKNIK DETEKSI ANTIBODI DAN ANTIGEN DALAM LABORATORIUM MEDIS - I Gede Andika Sukarya	29
A. Pendahuluan	29
B. Metode Aglutinasi	29
C. Immunokromatografi	47
D. ELISA (<i>Enzyme-Linked Immunosorbent Assay</i>)	51
E. Immunofluoresen	62
F. Immunoblot	69
G. Penutup	74
H. Daftar Pustaka	75
BAB 3. IMUNOSEROLOGI DALAM DIAGNOSIS PENYAKIT INFEKSI - Ifandari	77
A. Pendahuluan	77
B. Deteksi dan Konfirmasi pada Infeksi HIV	79

C. Deteksi Imunoserologi pada Hepatitis B.....	88
D. Deteksi Imunoserologi pada Hepatitis C.....	97
E. Deteksi Imunoserologi pada Sifilis.....	102
F. Deteksi Imunoserologi pada Toksoplasmosis....	107
G. Deteksi Imunoserologi pada Infeksi Dengue....	111
H. Penutup.....	117
I. Daftar Pustaka.....	118
BAB 4. INOVASI DAN TANTANGAN MASA DEPAN DALAM IMUNOSEROLOGI KLINIS - Imam Agus Faizal.....	124
A. Pendahuluan.....	124
B. Prosedur Penerapan Inovasi Imunoserologi Klinis di Laboratorium Medis.....	125
C. Struktur dan Fungsi Komponen Imunoserologi dalam Diagnostik Masa Depan.....	132
D. Penutupan.....	141
E. Daftar Pustaka.....	141
PENUTUP.....	146
GLOSARIUM.....	148
BIOGRAFI EDITOR.....	154
BIOGRAFI PENULIS.....	156
SINOPSIS.....	162

PENDAHULUAN

Oleh. Larantika Hidayati

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kesehatan telah membawa perubahan besar dalam sistem pelayanan laboratorium medis, khususnya dalam bidang diagnostik penyakit. Salah satu cabang ilmu yang memiliki peran sangat penting dalam mendukung ketepatan diagnosis adalah imunoserologi. Imunoserologi merupakan perpaduan antara ilmu imunologi dan serologi yang mempelajari reaksi antara antigen dan antibodi untuk mendeteksi berbagai kondisi patologis dalam tubuh. Pemeriksaan imunoserologi saat ini menjadi bagian penting dalam diagnostik laboratorium karena mampu memberikan informasi yang spesifik, sensitif, dan relatif cepat dalam membantu penegakan diagnosis penyakit.

Kemajuan metode pemeriksaan imunoserologi telah memungkinkan deteksi berbagai penyakit infeksi, gangguan autoimun, kelainan hormonal, hingga reaksi alergi dengan tingkat akurasi yang semakin baik. Berbagai teknik seperti aglutinasi, ELISA, imunokromatografi, imunofluoresensi, dan metode imunologi modern lainnya telah banyak digunakan di laboratorium medis baik untuk tujuan skrining, diagnosis, maupun pemantauan terapi. Oleh karena itu, tenaga laboratorium medis dituntut memiliki pemahaman yang baik mengenai prinsip dasar imunologi, mekanisme reaksi antigen–antibodi, serta

penerapan berbagai metode imunoserologi dalam praktik laboratorium.

Di sisi lain, perkembangan penyakit infeksi baru dan meningkatnya kebutuhan pelayanan kesehatan yang cepat dan tepat turut mendorong pentingnya penguasaan ilmu imunoserologi. Pandemi global yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan bahwa pemeriksaan berbasis imunoserologi memiliki peran strategis dalam deteksi penyakit dan pengambilan keputusan klinis. Selain itu, meningkatnya kasus penyakit autoimun, alergi, serta kebutuhan pemeriksaan hormon juga semakin memperluas aplikasi imunoserologi dalam dunia kesehatan modern.

Buku Imunoserologi dalam Diagnostik Laboratorium Medis ini disusun sebagai sumber pembelajaran yang sistematis dan aplikatif bagi mahasiswa, tenaga laboratorium medis, maupun praktisi kesehatan. Materi dalam buku ini membahas konsep dasar imunologi dan serologi, teknik pemeriksaan antigen dan antibodi, penerapan imunoserologi dalam berbagai bidang diagnostik, hingga perkembangan metode modern dalam laboratorium medis. Penyajian materi dilakukan secara bertahap agar pembaca dapat memahami hubungan antara teori dasar dengan penerapan klinis di lapangan.

Melalui buku ini, penulis berharap pembaca tidak hanya memahami konsep teoritis, tetapi juga mampu mengembangkan keterampilan analisis dalam menginterpretasikan hasil pemeriksaan imunoserologi secara tepat.

BAB 1

PRINSIP DASAR IMUNOLOGI DAN SEROLOGI DALAM DIAGNOSTIK

Oleh. Maria Regina Tri Yonita

A. Pendahuluan

Prinsip dasar imunologi dan serologi membentuk fondasi diagnostik laboratorium medis modern melalui deteksi spesifik antigen, antibodi, dan respons imun tubuh terhadap infeksi, autoimun, alergi, serta kondisi imunodefisiensi. Imunologi mempelajari mekanisme pertahanan tubuh (innate-adaptif), sementara serologi mengaplikasikan reaksi antigen-antibodi untuk diagnosis penyakit infeksi, pemantauan vaksinasi, dan skrining biomarker. Bab ini membekali mahasiswa Teknologi Laboratorium Medis dengan pemahaman konsep sistem imun, struktur antigen-antibodi, reaksi serologis (aglutinasi, presipitasi, ELISA), serta aplikasinya dalam praktik klinis untuk interpretasi hasil yang akurat dan aman bagi pengambilan keputusan medis.

B. Konsep Dasar Imunologi dan Serologi

Imunologi merupakan cabang ilmu biomedis yang mempelajari sistem pertahanan tubuh terhadap berbagai zat asing yang masuk ke dalam tubuh, baik berupa mikroorganisme, toksin, maupun sel yang mengalami perubahan. Sistem

imun memiliki peran penting dalam menjaga keseimbangan tubuh dengan cara mengenali dan merespons setiap zat yang dianggap berbahaya. Kemampuan ini tidak hanya terbatas pada proses perlindungan, tetapi juga mencakup mekanisme pengenalan dan regulasi yang kompleks.

Dalam perkembangannya, imunologi tidak lagi dipandang sebagai ilmu yang hanya menjelaskan reaksi pertahanan tubuh secara sederhana, melainkan sebagai ilmu yang mengkaji interaksi biologis yang terjadi secara dinamis dan terorganisir. Sistem imun mampu membedakan antara komponen tubuh sendiri (*self*) dan zat asing (*non-self*), serta memberikan respons yang sesuai terhadap masing-masing kondisi tersebut. Respons ini dapat berupa eliminasi agen patogen, pembentukan memori imunologis, maupun toleransi terhadap antigen tertentu.

Serologi merupakan bagian dari imunologi yang berfokus pada pemeriksaan komponen dalam serum, terutama antibodi, yang terbentuk sebagai respons terhadap antigen. Pemeriksaan serologi banyak digunakan dalam bidang diagnostik karena relatif mudah dilakukan dan mampu memberikan informasi mengenai status imun seseorang terhadap suatu penyakit.

Namun demikian, hasil pemeriksaan serologi tidak selalu mencerminkan kondisi penyakit secara langsung. Hal ini disebabkan karena antibodi yang terdeteksi merupakan hasil dari respons imun yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti waktu terjadinya infeksi, kondisi sistem imun individu,

serta metode pemeriksaan yang digunakan. Oleh karena itu, hasil serologi harus diinterpretasikan secara hati-hati dengan mempertimbangkan aspek klinis dan laboratoris lainnya.

Selain itu, terdapat periode tertentu yang dikenal sebagai *window period*, yaitu fase di mana antibodi belum terbentuk dalam jumlah yang dapat dideteksi meskipun infeksi telah terjadi. Kondisi ini menjadi salah satu keterbatasan dalam pemeriksaan serologi yang perlu dipahami oleh tenaga laboratorium.

C. Sistem Imun: Innate dan Adaptif

Sistem imun merupakan sistem pertahanan tubuh yang tersusun atas berbagai komponen seluler dan molekuler yang bekerja secara terintegrasi untuk melindungi tubuh dari paparan zat asing. Secara umum, sistem imun dibedakan menjadi dua bagian utama, yaitu imun bawaan (*innate immunity*) dan imun adaptif (*adaptive immunity*). Meskipun pembagian ini bersifat konseptual, keduanya memiliki karakteristik yang berbeda namun saling melengkapi dalam menjalankan fungsi pertahanan tubuh.

1. Imun Bawaan (*Innate Immunity*)

Imun bawaan merupakan garis pertahanan pertama yang bekerja secara cepat ketika tubuh terpapar oleh agen patogen. Sistem ini telah ada sejak lahir dan tidak memerlukan proses pengenalan sebelumnya terhadap antigen. Karakteristik utama imun

bawaan adalah respons yang cepat, non-spesifik, serta tidak memiliki memori imunologis.

Salah satu mekanisme utama dalam imun bawaan adalah kemampuan untuk mengenali pola molekuler yang umum dimiliki oleh mikroorganisme, yang dikenal sebagai *pathogen-associated molecular patterns* (PAMPs). Pengenalan ini dimediasi oleh reseptor yang disebut *pattern recognition receptors* (PRRs), seperti *Toll-like receptors* (TLRs). Reseptor ini terdapat pada berbagai sel imun dan berperan dalam menginisiasi respons imun melalui aktivasi jalur sinyal intraseluler yang menghasilkan mediator inflamasi.

Komponen imun bawaan terdiri atas barier fisik, kimia, dan biologis. Barrier fisik seperti kulit dan membran mukosa berfungsi sebagai penghalang utama yang mencegah masuknya mikroorganisme ke dalam tubuh. Selain itu, terdapat barrier kimia seperti enzim lisozim, asam lambung, dan berbagai zat antimikroba yang mampu menghambat pertumbuhan patogen.



Gambar 1.1 Sistem Imun Bawaan

Pada tingkat seluler, imun bawaan melibatkan berbagai jenis sel, seperti neutrofil, makrofag, dan sel natural killer (NK). Neutrofil merupakan sel pertama yang bermigrasi ke lokasi infeksi dan berperan dalam fagositosis serta penghancuran mikroorganisme. Makrofag tidak hanya berfungsi sebagai fagosit, tetapi juga berperan dalam menghasilkan sitokin yang mengatur respons imun. Sementara itu, sel NK memiliki kemampuan untuk mengenali dan menghancurkan sel yang terinfeksi virus atau mengalami perubahan tanpa memerlukan pengenalan antigen secara spesifik.

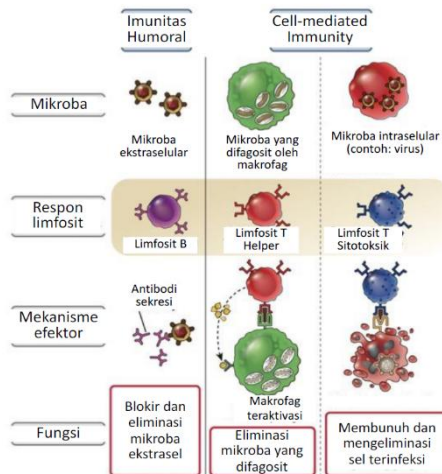
Selain komponen seluler, sistem komplemen juga merupakan bagian penting dari imun bawaan. Sistem ini terdiri atas serangkaian protein plasma yang bekerja secara berantai untuk meningkatkan respons imun, antara lain melalui opsonisasi, kemotaksis, dan lisis sel patogen. Aktivasi sistem komplemen dapat terjadi melalui beberapa jalur, seperti jalur klasik, alternatif, dan lektin.

Respons imun bawaan umumnya disertai dengan proses inflamasi, yang ditandai dengan peningkatan aliran darah, permeabilitas pembuluh darah, serta migrasi sel imun ke lokasi infeksi. Proses ini bertujuan untuk membatasi penyebaran patogen dan memfasilitasi eliminasi agen penyebab penyakit. Meskipun bersifat non-spesifik, imun bawaan memiliki peran yang sangat penting dalam tahap awal pertahanan tubuh.

2. Imun Adaptif (*Adaptive Immunity*)

Imun adaptif merupakan sistem pertahanan yang memiliki kemampuan mengenali antigen secara spesifik serta membentuk memori imunologis. Sistem ini berkembang sebagai respons terhadap paparan antigen dan memberikan perlindungan jangka panjang terhadap patogen yang sama.

Komponen utama imun adaptif adalah limfosit B dan limfosit T. Limfosit B berperan dalam respon imun humoral dengan menghasilkan antibodi yang spesifik terhadap antigen. Antibodi ini berfungsi untuk menetralkan patogen, menghambat interaksi patogen dengan sel inang, serta menandai patogen agar mudah dikenali dan dihancurkan oleh sel imun lainnya.



Gambar 1.2 Sistem Imun Adaptif

Limfosit T berperan dalam respon imun seluler. Sel T helper berfungsi mengatur dan mengoordinasikan respon imun dengan cara menghasilkan sitokin yang mempengaruhi aktivitas sel imun lainnya. Sel T sitotoksik memiliki kemampuan untuk menghancurkan sel yang terinfeksi atau sel yang mengalami perubahan abnormal melalui mekanisme sitolisis.

Berbeda dengan imun bawaan, respon imun adaptif memerlukan waktu lebih lama untuk berkembang, terutama pada paparan pertama terhadap antigen. Proses ini melibatkan pengenalan antigen oleh reseptor spesifik pada limfosit, diikuti oleh aktivasi, proliferasi, dan diferensiasi sel menjadi sel efektor dan sel memori. Sel memori ini memungkinkan tubuh untuk memberikan respons yang lebih cepat dan lebih kuat pada paparan berikutnya terhadap antigen yang sama.

Antibodi yang dihasilkan dalam respon imun adaptif terdiri atas beberapa kelas imunoglobulin, seperti IgM, IgG, IgA, IgE, dan IgD. Masing-masing kelas memiliki fungsi yang berbeda dalam sistem imun. IgM biasanya merupakan antibodi pertama yang muncul pada fase awal infeksi, sedangkan IgG berperan dalam perlindungan jangka panjang dan dapat melewati plasenta. IgA banyak ditemukan pada permukaan mukosa, sedangkan IgE berperan

dalam reaksi alergi dan pertahanan terhadap parasit.

Keunggulan utama imun adaptif terletak pada spesifisitas dan memori imunologis yang dimilikinya. Kemampuan ini memungkinkan sistem imun untuk memberikan perlindungan yang lebih efektif terhadap infeksi berulang. Dengan demikian, imun adaptif berperan penting dalam mempertahankan kekebalan tubuh dalam jangka panjang.

D. Antigen dan Antibodi

Antigen dan antibodi merupakan dua komponen utama dalam sistem imun yang memiliki peran sentral dalam proses pertahanan tubuh. Interaksi antara keduanya menjadi dasar dari berbagai mekanisme respon imun, baik dalam kondisi fisiologis maupun dalam aplikasi diagnostik. Pemahaman yang komprehensif mengenai karakteristik antigen dan antibodi sangat penting untuk menjelaskan bagaimana sistem imun mengenali dan merespons zat asing secara spesifik.

1. Antigen

Antigen adalah suatu molekul atau substansi yang mampu dikenali oleh sistem imun dan berikatan secara spesifik dengan antibodi atau reseptor pada limfosit T dan B. Antigen umumnya berasal dari luar tubuh, seperti bakteri, virus, jamur, dan parasit, tetapi juga dapat berasal dari dalam tubuh, seperti sel yang mengalami perubahan atau kerusakan.

Tidak semua molekul dapat berperan sebagai antigen. Agar dapat dikenali dan memicu respons imun, suatu antigen harus memiliki sifat tertentu. Salah satu sifat utama adalah imunogenisitas, yaitu kemampuan suatu zat untuk merangsang pembentukan respons imun. Selain itu, antigen juga memiliki spesifisitas, yang berarti setiap antigen memiliki determinan antigenik (*epitop*) yang dapat dikenali secara spesifik oleh reseptor imun. Struktur molekul yang kompleks, seperti protein dan polisakarida, umumnya memiliki kemampuan antigenik yang lebih baik dibandingkan molekul sederhana.

Berdasarkan kemampuannya dalam merangsang respons imun, antigen dapat dibedakan menjadi imunogen dan haptan. Imunogen adalah antigen yang mampu secara langsung menstimulasi respons imun, sedangkan haptan merupakan molekul kecil yang tidak dapat merangsang respons imun kecuali jika berikatan dengan molekul pembawa (*carrier*). Konsep ini penting dalam menjelaskan berbagai fenomena imunologis, termasuk reaksi alergi dan sensitivitas terhadap obat.

Selain itu, antigen juga dapat diklasifikasikan berdasarkan asalnya, yaitu antigen eksogen yang berasal dari luar tubuh dan antigen endogen yang berasal dari dalam tubuh. Antigen eksogen biasanya masuk melalui inhalasi, ingesti, atau injeksi, kemudian diproses oleh sel penyaji antigen. Sementara itu, antigen

endogen dihasilkan di dalam sel, misalnya akibat infeksi virus atau perubahan seluler, dan disajikan melalui molekul kompleks histokompatibilitas utama (MHC).

Dalam sistem imun, pengenalan antigen merupakan tahap awal yang sangat menentukan. Proses ini melibatkan interaksi antara epitop antigen dengan paratop pada antibodi atau reseptor sel T. Ikatan yang terjadi bersifat sangat spesifik dan dipengaruhi oleh kesesuaian struktur molekul. Oleh karena itu, perubahan kecil pada struktur antigen dapat mempengaruhi kemampuan pengenalan oleh sistem imun.

2. Antibodi (Imunoglobulin)

Antibodi atau imunoglobulin adalah protein yang dihasilkan oleh limfosit B yang telah berdiferensiasi menjadi sel plasma sebagai respons terhadap paparan antigen. Antibodi berfungsi sebagai efektor utama dalam respon imun humoral dan berperan dalam mengenali serta menetralkan zat asing secara spesifik.

Secara struktural, antibodi berbentuk seperti huruf Y dan terdiri atas dua rantai berat (*heavy chain*) dan dua rantai ringan (*light chain*) yang dihubungkan oleh ikatan disulfida. Bagian ujung dari antibodi, yang dikenal sebagai daerah variabel, berfungsi untuk mengikat antigen secara spesifik, sedangkan bagian lainnya berperan dalam menjalankan fungsi efektor, seperti aktivasi komplemen dan interaksi dengan sel imun.

Fungsi utama antibodi meliputi netralisasi, opsonisasi, dan aktivasi sistem komplemen. Dalam proses netralisasi, antibodi mengikat toksin atau patogen sehingga mencegah interaksi dengan sel inang. Opsonisasi merupakan proses penandaan patogen oleh antibodi agar lebih mudah dikenali dan difagositosis oleh sel imun seperti makrofag dan neutrofil. Selain itu, antibodi juga dapat mengaktifkan sistem komplemen yang berperan dalam menghancurkan patogen melalui mekanisme lisis sel.

Antibodi dibedakan menjadi beberapa kelas utama, yaitu IgG, IgM, IgA, IgE, dan IgD, yang masing-masing memiliki struktur dan fungsi yang berbeda. IgM merupakan antibodi pertama yang diproduksi pada fase awal respons imun dan memiliki kemampuan aglutinasi yang kuat. IgG merupakan antibodi yang paling banyak ditemukan dalam sirkulasi dan berperan dalam perlindungan jangka panjang serta mampu melewati plasenta untuk memberikan imunitas pasif pada janin.

IgA banyak ditemukan pada sekresi mukosa seperti air liur, air mata, dan cairan saluran pernapasan, sehingga berperan penting dalam pertahanan pada permukaan mukosa. IgE berperan dalam reaksi hipersensitivitas tipe I dan pertahanan terhadap infeksi parasit, sedangkan IgD berfungsi sebagai reseptor pada permukaan limfosit B dan berperan dalam aktivasi sel tersebut.

Produksi antibodi merupakan hasil dari proses kompleks yang melibatkan aktivasi, proliferasi, dan diferensiasi limfosit B. Setelah terpapar antigen, limfosit B akan mengalami seleksi klonal dan berkembang menjadi sel plasma yang menghasilkan antibodi spesifik serta sel memori yang berperan dalam respons imun sekunder.

Antigen dan antibodi memiliki hubungan yang sangat erat dalam sistem imun. Antigen berperan sebagai pemicu respons imun, sedangkan antibodi bertindak sebagai mediator utama dalam menetralkan dan mengeliminasi zat asing. Pemahaman yang mendalam mengenai kedua komponen ini menjadi dasar penting dalam mempelajari mekanisme pertahanan tubuh serta dalam pengembangan berbagai metode diagnostik berbasis imunologi.

E. Reaksi Antigen dan Antibodi

Reaksi antigen–antibodi merupakan proses fundamental dalam sistem imun yang terjadi akibat interaksi spesifik antara antigen sebagai zat asing dengan antibodi yang dihasilkan oleh sistem imun. Interaksi ini mencerminkan kemampuan tubuh dalam mengenali dan merespons molekul yang dianggap tidak sesuai dengan komponen tubuh sendiri. Dalam konteks imunologi, hubungan antara antigen dan antibodi tidak hanya bersifat struktural, tetapi juga fungsional karena berperan langsung dalam mekanisme eliminasi patogen.

Ikatan antara antigen dan antibodi terjadi pada bagian tertentu yang disebut epitop pada antigen dan paratop pada antibodi. Keduanya memiliki kecocokan struktur yang memungkinkan terbentuknya ikatan non-kovalen, seperti ikatan hidrogen, gaya van der Waals, dan interaksi elektrostatik. Ikatan ini bersifat reversibel, sehingga dapat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti suhu, pH, dan konsentrasi masing-masing komponen. Oleh karena itu, reaksi antigen–antibodi tidak bersifat tetap, melainkan dinamis dan bergantung pada kondisi reaksi.

Salah satu aspek penting dalam interaksi ini adalah afinitas, yaitu kekuatan ikatan antara satu situs pengikatan antibodi dengan epitop antigen. Selain itu, terdapat konsep aviditas yang menggambarkan kekuatan total dari seluruh interaksi antara antigen dan antibodi dalam suatu kompleks. Aviditas menjadi penting terutama pada antibodi yang memiliki lebih dari satu tempat pengikatan, karena dapat meningkatkan kestabilan kompleks imun yang terbentuk.

Ketika antigen dan antibodi berikatan, akan terbentuk kompleks imun yang dalam kondisi tertentu dapat memberikan efek yang dapat diamati. Salah satu bentuk reaksi yang sering dijumpai adalah aglutinasi, yaitu penggumpalan partikel antigen oleh antibodi. Reaksi ini terjadi karena antibodi mampu mengikat lebih dari satu antigen sehingga membentuk jaringan yang terlihat sebagai gumpalan. Selain itu, terdapat pula reaksi presipitasi yang terjadi pada antigen yang larut, di

mana interaksi dengan antibodi menghasilkan kompleks yang tidak larut dan kemudian mengendap.

Selain menghasilkan reaksi yang dapat diamati secara langsung, interaksi antigen–antibodi juga berperan dalam berbagai mekanisme efektor dalam sistem imun. Antibodi dapat menetralkan toksin atau virus dengan cara menghambat interaksi antara patogen dengan sel inang. Di samping itu, antibodi juga dapat meningkatkan proses fagositosis melalui mekanisme opsonisasi, yaitu penandaan patogen agar lebih mudah dikenali oleh sel fagosit. Aktivasi sistem komplemen juga merupakan salah satu konsekuensi dari pembentukan kompleks antigen–antibodi, yang dapat berujung pada lisis sel patogen.

Dalam kondisi tertentu, kompleks antigen–antibodi dapat berinteraksi dengan sel efektor melalui mekanisme *antibody-dependent cellular cytotoxicity* (ADCC), di mana sel seperti natural killer berperan dalam menghancurkan sel target. Namun, pembentukan kompleks imun dalam jumlah berlebihan juga dapat menimbulkan dampak negatif, seperti deposisi kompleks pada jaringan yang dapat memicu reaksi inflamasi.

Efektivitas reaksi antigen–antibodi dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah perbandingan antara jumlah antigen dan antibodi. Rasio yang seimbang akan menghasilkan pembentukan kompleks imun yang optimal. Sebaliknya, kelebihan antigen atau antibodi dapat menghambat terbentuknya reaksi yang dapat

diamati, yang dikenal sebagai fenomena prozon dan postzon. Selain itu, faktor lingkungan seperti suhu dan pH juga berperan dalam menentukan kestabilan interaksi tersebut.

F. Prinsip Dasar Serologi dalam Diagnostik

Serologi merupakan cabang ilmu imunologi yang mempelajari reaksi antara antigen dan antibodi di dalam serum, yang dimanfaatkan untuk membantu menegakkan diagnosis suatu penyakit. Pemeriksaan serologi digunakan untuk mengetahui adanya respons imun terhadap suatu agen tertentu, baik dalam bentuk antibodi maupun antigen yang beredar dalam tubuh.

Pada umumnya, pemeriksaan antibodi digunakan untuk mengetahui apakah seseorang pernah terpapar atau mengalami infeksi, sedangkan pemeriksaan antigen lebih mengarah pada deteksi keberadaan agen penyebab penyakit yang masih aktif di dalam tubuh. Meskipun demikian, hasil pemeriksaan serologi tidak selalu menggambarkan kondisi klinis secara langsung, sehingga perlu dipahami prinsip dasar dari setiap metode yang digunakan.

Berbagai metode serologi dikembangkan berdasarkan reaksi antigen–antibodi, dengan cara deteksi yang berbeda-beda. Beberapa metode yang sering digunakan antara lain sebagai berikut.

1. Aglutinasi

Aglutinasi merupakan reaksi antara antigen yang berbentuk partikel dengan antibodi spesifik sehingga menghasilkan

penggumpalan yang dapat dilihat secara langsung. Antigen yang terlibat dalam reaksi ini biasanya berupa sel, seperti eritrosit, bakteri, atau partikel lain yang dapat tersuspensi dalam cairan.

Reaksi aglutinasi terjadi karena satu molekul antibodi mampu mengikat lebih dari satu antigen. Ikatan ini menyebabkan terbentuknya jembatan antar partikel sehingga terbentuk agregat yang tampak sebagai gumpalan. Agar reaksi ini dapat terjadi dengan baik, diperlukan perbandingan yang sesuai antara antigen dan antibodi. Jika salah satu komponen terlalu berlebih, maka reaksi tidak akan tampak jelas.

Metode aglutinasi banyak digunakan dalam pemeriksaan laboratorium karena relatif sederhana dan tidak memerlukan alat yang rumit. Salah satu contoh yang paling umum adalah pemeriksaan golongan darah sistem ABO, di mana terjadi reaksi antara antigen pada permukaan eritrosit dengan antibodi tertentu. Selain itu, metode ini juga digunakan dalam berbagai uji serologi untuk mendeteksi antibodi terhadap bakteri atau virus.

2. Presipitasi

Presipitasi merupakan reaksi antara antigen yang larut dengan antibodi yang menghasilkan kompleks imun yang tidak larut, sehingga membentuk endapan. Berbeda dengan aglutinasi, reaksi ini tidak melibatkan

partikel besar, melainkan antigen yang terlarut dalam cairan.

Reaksi presipitasi terjadi apabila antigen dan antibodi berada dalam perbandingan yang seimbang, sehingga memungkinkan terbentuknya jaringan kompleks yang cukup besar untuk mengendap. Jika jumlah antigen atau antibodi tidak seimbang, maka reaksi presipitasi tidak akan terlihat dengan jelas.

Dalam praktiknya, reaksi presipitasi dapat diamati sebagai kekeruhan dalam larutan atau sebagai garis endapan pada media gel. Salah satu bentuk pengembangannya adalah teknik difusi dalam gel, di mana antigen dan antibodi akan bergerak saling mendekat dan membentuk garis presipitasi pada titik keseimbangan.

Meskipun metode ini tidak sepeka teknik modern, prinsip presipitasi tetap penting karena menjadi dasar dalam memahami interaksi antigen–antibodi serta digunakan dalam beberapa pemeriksaan imunologi tertentu.

3. Imunoassay

Imunoassay merupakan metode serologi yang dikembangkan untuk meningkatkan kepekaan dan ketepatan dalam mendeteksi antigen maupun antibodi. Metode ini menggabungkan reaksi antigen–antibodi dengan sistem penanda tertentu sehingga hasilnya dapat diukur secara lebih akurat.

Salah satu metode yang paling banyak digunakan adalah Enzyme-Linked

Immunosorbent Assay (ELISA). Pada metode ini, antibodi atau antigen diberi label enzim yang akan menghasilkan perubahan warna ketika bereaksi dengan substrat tertentu. Perubahan warna tersebut kemudian dapat diukur untuk menentukan ada atau tidaknya zat yang diperiksa.

Selain ELISA, terdapat juga metode Chemiluminescence Immunoassay (CLIA) yang menggunakan reaksi kimia untuk menghasilkan cahaya sebagai indikator. Intensitas cahaya yang dihasilkan sebanding dengan jumlah antigen atau antibodi yang terdeteksi, sehingga memungkinkan pemeriksaan dengan tingkat sensitivitas yang tinggi.

Metode imunoassay banyak digunakan dalam berbagai bidang, seperti diagnosis penyakit infeksi, pemeriksaan hormon, hingga deteksi penanda tumor. Keunggulan utamanya adalah mampu mendeteksi zat dalam jumlah sangat kecil dengan hasil yang lebih objektif dibandingkan metode konvensional.

4. Imunokromatografi (*Rapid Test*)

Imunokromatografi merupakan metode serologi yang dirancang untuk memberikan hasil secara cepat dan mudah digunakan. Metode ini banyak dikenal dalam bentuk *rapid test* yang sering digunakan di fasilitas kesehatan maupun di lapangan.

Prinsip kerja metode ini didasarkan pada pergerakan antigen atau antibodi dalam sampel melalui suatu membran dengan bantuan gaya

kapiler. Sampel yang diteteskan akan bergerak sepanjang membran dan berinteraksi dengan reagen yang telah dilabeli. Jika terjadi reaksi antigen–antibodi, maka akan terbentuk garis berwarna pada area tertentu sebagai tanda hasil positif.

Kelebihan utama metode ini adalah waktu pemeriksaan yang singkat, prosedur yang sederhana, serta tidak memerlukan peralatan khusus. Oleh karena itu, metode imunokromatografi sangat cocok digunakan untuk skrining awal.

Namun demikian, metode ini memiliki keterbatasan, terutama dalam hal sensitivitas dan spesifisitas yang umumnya lebih rendah dibandingkan metode immunoassay seperti ELISA atau CLIA. Oleh karena itu, hasil pemeriksaan *rapid test* sering kali perlu dikonfirmasi dengan metode lain yang lebih akurat.

G. Aplikasi Imunoserologi Dalam Diagnostik

Imunoserologi merupakan bagian dari pemeriksaan laboratorium yang memanfaatkan reaksi spesifik antara antigen dan antibodi untuk membantu penegakan diagnosis. Perkembangan metode imunologi telah memperluas penggunaan imunoserologi, tidak hanya terbatas pada penyakit infeksi, tetapi juga mencakup gangguan autoimun, pemeriksaan hormon, serta kondisi alergi. Keunggulan utama pendekatan ini terletak pada spesifisitas reaksi yang tinggi, sehingga mampu

mendeteksi molekul target secara selektif, meskipun dalam kadar yang rendah.

1. Diagnosis Penyakit Infeksi

Dalam diagnosis penyakit infeksi, pemeriksaan imunoserologi digunakan untuk mengidentifikasi adanya paparan terhadap agen infeksi melalui deteksi antibodi atau untuk mendeteksi keberadaan antigen dari mikroorganisme penyebab penyakit. Deteksi antibodi umumnya mencerminkan respons imun tubuh terhadap infeksi, sedangkan deteksi antigen lebih berkaitan dengan keberadaan patogen secara langsung.

Pada infeksi virus, seperti HIV, pemeriksaan serologi dilakukan dengan mendeteksi antibodi terhadap virus tersebut. Antibodi biasanya mulai terbentuk beberapa waktu setelah infeksi, sehingga terdapat fase awal di mana hasil pemeriksaan dapat menunjukkan negatif meskipun individu telah terinfeksi. Keadaan ini dikenal sebagai periode jendela, yang menjadi salah satu keterbatasan dalam pemeriksaan berbasis antibodi.

Pada infeksi hepatitis, pemeriksaan imunoserologi memiliki peranan yang lebih kompleks karena melibatkan berbagai penanda. Sebagai contoh, pada hepatitis B, pemeriksaan antigen permukaan (HBsAg) digunakan untuk menunjukkan adanya infeksi aktif, sedangkan antibodi seperti anti-HBs dan anti-HBc memberikan informasi mengenai status kekebalan atau riwayat infeksi. Kombinasi

beberapa penanda ini memungkinkan penilaian yang lebih komprehensif terhadap perjalanan penyakit.

Pada infeksi bakteri seperti demam tifoid, pemeriksaan serologi dilakukan untuk mendeteksi antibodi terhadap antigen *Salmonella typhi*. Metode yang umum digunakan adalah uji aglutinasi, yang meskipun sederhana, memiliki keterbatasan dalam hal spesifisitas dan dapat dipengaruhi oleh faktor lain, seperti infeksi sebelumnya atau reaksi silang. Oleh karena itu, hasil pemeriksaan harus dipertimbangkan bersama dengan data klinis.

2. Pemeriksaan Autoimun

Pada penyakit autoimun, sistem imun kehilangan kemampuan untuk membedakan antara komponen tubuh sendiri dan zat asing, sehingga menghasilkan antibodi terhadap jaringan tubuh sendiri yang disebut autoantibodi. Pemeriksaan imunoserologi digunakan untuk mendeteksi keberadaan autoantibodi tersebut sebagai salah satu indikator adanya gangguan autoimun.

Salah satu pemeriksaan yang sering digunakan adalah Rheumatoid Factor (RF), yang berkaitan dengan penyakit rheumatoid arthritis. RF merupakan antibodi yang bereaksi terhadap bagian dari imunoglobulin lain. Meskipun demikian, keberadaan RF tidak bersifat spesifik, karena dapat ditemukan pada kondisi lain atau dalam kadar rendah pada individu tanpa gejala.

Pemeriksaan lain yang penting adalah Antinuclear Antibody (ANA), yang digunakan untuk mendeteksi antibodi terhadap komponen inti sel. Pemeriksaan ini sering digunakan sebagai uji skrining pada penyakit seperti lupus eritematosus sistemik. Hasil ANA yang positif menunjukkan kemungkinan adanya proses autoimun, tetapi tidak dapat dijadikan dasar diagnosis tanpa dukungan temuan klinis dan pemeriksaan lanjutan.

Dengan demikian, pemeriksaan imunoserologi pada penyakit autoimun lebih berperan sebagai alat bantu yang harus diinterpretasikan secara hati-hati dan dikaitkan dengan gambaran klinis secara keseluruhan.

3. Deteksi Hormon

Imunoserologi juga dimanfaatkan dalam pemeriksaan hormon, karena metode ini memungkinkan deteksi molekul dengan konsentrasi yang sangat rendah secara spesifik. Salah satu contoh yang paling dikenal adalah pemeriksaan hormon human chorionic gonadotropin (hCG) untuk mendeteksi kehamilan.

Hormon hCG diproduksi oleh jaringan trofoblas setelah terjadinya implantasi, dan dapat dideteksi dalam darah maupun urin. Pemeriksaan ini umumnya menggunakan metode imunokromatografi atau immunoassay yang memberikan hasil dalam waktu relatif singkat dengan tingkat sensitivitas yang baik.

Selain hCG, pemeriksaan imunoserologi juga digunakan untuk mengukur hormon lain, seperti hormon tiroid dan hormon reproduksi. Pemeriksaan ini penting dalam menilai fungsi sistem endokrin, serta dalam membantu diagnosis berbagai gangguan hormonal. Hasil yang diperoleh umumnya bersifat kuantitatif, sehingga dapat digunakan untuk pemantauan kondisi pasien dari waktu ke waktu.

4. Pemeriksaan Alergi

Pada reaksi alergi, sistem imun menunjukkan respons yang berlebihan terhadap zat tertentu yang sebenarnya tidak berbahaya. Reaksi ini umumnya melibatkan imunoglobulin E (IgE), yang berperan dalam mekanisme hipersensitivitas.

Pemeriksaan imunoserologi pada alergi dilakukan dengan mengukur kadar IgE, baik secara total maupun spesifik terhadap alergen tertentu. Pemeriksaan IgE spesifik lebih memberikan informasi yang berguna karena dapat membantu mengidentifikasi jenis alergen yang memicu reaksi alergi, seperti makanan, debu, atau serbuk sari.

Meskipun demikian, hasil pemeriksaan tidak selalu sejalan dengan manifestasi klinis. Kadar IgE yang tinggi tidak selalu diikuti dengan gejala alergi, dan sebaliknya. Oleh karena itu, interpretasi hasil pemeriksaan harus mempertimbangkan riwayat paparan dan gejala yang dialami oleh pasien.

H. Penutup

Imunologi dan serologi merupakan dasar penting dalam memahami mekanisme pertahanan tubuh serta penerapannya dalam diagnostik laboratorium. Sistem imun bekerja melalui dua mekanisme utama, yaitu imun bawaan dan imun adaptif, yang saling melengkapi dalam melindungi tubuh dari berbagai agen asing. Pemahaman mengenai antigen, antibodi, serta reaksi antigen-antibodi menjadi landasan utama dalam menjelaskan berbagai pemeriksaan imunoserologi yang digunakan dalam praktik klinis.

Pemeriksaan serologi memiliki peranan besar dalam membantu diagnosis berbagai kondisi, mulai dari penyakit infeksi, gangguan autoimun, pemeriksaan hormon, hingga alergi. Meskipun demikian, hasil pemeriksaan serologi tidak dapat diinterpretasikan secara tunggal, karena dipengaruhi oleh banyak faktor seperti waktu pemeriksaan, kondisi pasien, dan metode yang digunakan. Oleh sebab itu, interpretasi hasil harus selalu dikaitkan dengan data klinis dan pemeriksaan penunjang lainnya agar diperoleh kesimpulan yang akurat.

Dengan memahami prinsip dasar imunologi dan serologi, mahasiswa diharapkan mampu menggunakan pengetahuan tersebut sebagai bekal dalam menganalisis hasil pemeriksaan laboratorium secara tepat. Pemahaman ini juga menjadi dasar penting untuk mendukung ketepatan diagnosis dan pelayanan kesehatan yang lebih baik.

I. Daftar Pustaka

- Abbas, A., Lichtman, A., & Pillai, S. (2023). *Basic Immunology E-Book* (7th ed.). Elsevier
- Abernathy, E. (1987). How the immune system works. *The American Journal of Nursing*, 87(4).
<https://doi.org/10.2307/3470435>
- Delves, P. J., Martin, S. J., Burton, D. R., & Roitt, I. M. (2017). *Roitt's essential immunology* (13th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Faizal, I. A. (2022). *Imunologi dasar: Buku ajar*. Cilacap: Universitas Al-Irsyad Cilacap (UNAIC).
- Lkhagvasuren, Enkhhsaikhan. (2017). Janeway's Immunobiology, 9th Edition. *Central Asian Journal of Medical Sciences*. 3. 100-101.
[10.24079/cajms.2017.01.015](https://doi.org/10.24079/cajms.2017.01.015).
- Luthfianto, D., Indriputri, C., Purwoto, A., Padoli, Ambawarwati, R., Faizal, I. A., Taufiqurrahman, M., Husen, F., Witriyani, Supriatin, T., & Rahmi, A. (2023). *Buku ajar imunologi*. CV. Science Techno Direct.
- Krihariyani, D., Handayati, A., Hidayati, L., Wibowo, S., Lestarini, I. A., Larasati, M. D., Parisihni, K., Febriyanto, T., Sari, N., Nurfadillah, A., Yusrawati, Y., Kahar, L. A., Hasanuddin, A. R., Djohan, H., Fristiani, A. K. B., Kurniawan, S., Nurjanah, M. H., & Woelansari, E. D. (2025). *Imunologi dan serologi*. Purbalingga: CV. Eureka Media Aksara.
- Janeway, C. A. (2001). *Immunobiology* (5th ed.). Garland Science.
<https://www.ptonline.com/articles/how-to-get-better-mfi-results>

- Male, D., Roitt, I. (2013). *Immunology* (8th ed., pp. 88–100). Elsevier Saunders.
- Parham, P. (2021). *The Immune System* (5th ed.). Garland Science.

BAB 2

TEKNIK DETEKSI ANTIBODI DAN ANTIGEN DALAM LABORATORIUM MEDIS

Oleh. I Gede Andika Sukarya

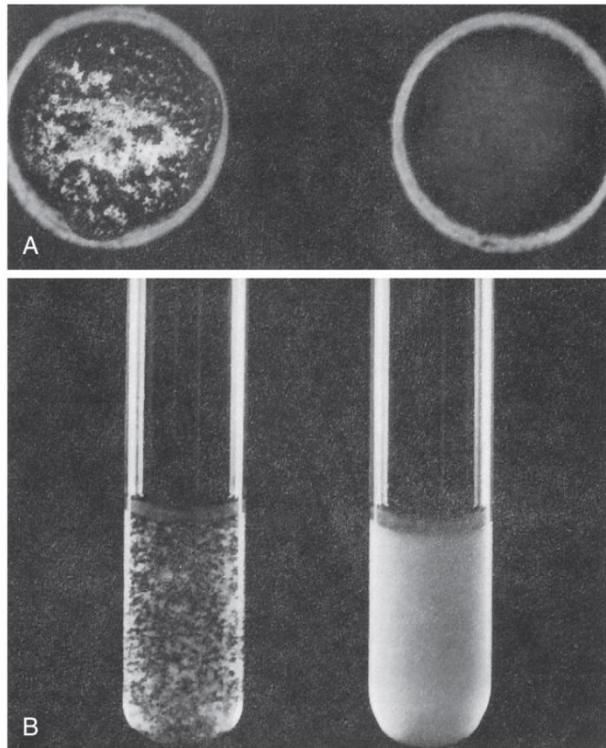
A. Pendahuluan

Teknik deteksi antibodi dan antigen merupakan pilar utama laboratorium medis dalam diagnosis infeksi, autoimun, alergi, dan pemantauan respons imun melalui metode aglutinasi, imunokromatografi, ELISA, imunofluoresensi, dan imunoblot. Teknik ini memanfaatkan prinsip spesifisitas reaksi antigen-antibodi untuk mendeteksi patogen aktif, infeksi lampau, atau status imunisasi dengan sensitivitas dan spesifisitas tinggi. Bab ini membekali mahasiswa Teknologi Laboratorium Medis dengan pemahaman teknis, verifikasi metode, pengendalian mutu, serta keterbatasan masing-masing teknik untuk menghasilkan data diagnostik akurat yang mendukung pengambilan keputusan klinis tepat waktu.

B. Metode Aglutinasi

1. Prinsip Aglutinasi

Presipitasi dan aglutinasi adalah ekspresi visual dari agregasi antigen dan antibodi melalui pembentukan kerangka/rangkaian di mana partikel atau molekul antigen berikatan dengan molekul antibodi.



Gambar 2.1 Pola Aglutinasi. A, Aglutinasi Slide Bakteri Dengan Antisera Yang Diketahui Atau Bakteri Yang Diketahui. Kiri, Reaksi Positif; Kanan, Reaksi Negatif. B, Aglutinasi Tabung. Kiri, Reaksi Positif; Kanan, Reaksi Negatif. (Dari Barrett Jt: Buku Teks Imunologi, Ed 5, St Louis, 1988, Mosby.)

Kombinasi antigen yang larut dengan antibodi yang larut untuk menghasilkan kompleks yang tidak larut dan dapat terlihat. Aglutinasi adalah proses di mana antigen spesifik (misalnya, sel darah merah) beragregasi membentuk gumpalan yang lebih besar dan terlihat ketika antibodi spesifik yang sesuai dalam serum.

Partikel buatan pembawa mungkin diperlukan untuk menunjukkan secara visual

bahwa reaksi antigen-antibodi telah terjadi; contohnya termasuk partikel lateks dan carbone koloid. Sel yang tidak terkait dengan antigen, seperti eritrosit yang dilapisi antigen dalam jumlah konstan, dapat digunakan sebagai reagen detektor atau biological carriers. Sel bakteri utuh dapat mengandung antigen yang akan berikatan dengan antibodi yang diproduksi sebagai respons terhadap antigen tersebut ketika dimasukkan ke dalam inang.

Tabel 2.1 Partikel Pembawa

Tabel (2.1)			
Contoh Partikel Pembawa			
Jenis (Reagen)	Jenis Pengujian	Prinsip	Hasil
Partikel lateks	Protein C-reaktif (CRP)	Suspensi partikel lateks polistirena berukuran seragam dilapisi dengan fraksi IgG dari Serum spesifik antihuman-CRP	Jika CRP ada dalam serum, itu berarti ada reaksi antigen-antibodi terjadi. Reaksi ini menyebabkan perubahan pada tampilan suspensi lateks dan menghasilkan aglutinasi yang jelas
Eritrosit domba yang distabilkan	Rheumatoid factor (RF)	Bertindak seperti antibodi melawan	Jika gamma globulin terikat pada pembawa

dengan gamma globulin kelinci dalam suspensi larutan penyangga atau buffer		gamma globulin yang bertindak sebagai antigen.	tertentu (misalnya, sel darah merah atau partikel lateks), reaksi RF dengan gamma globulin akan menghasilkan aglutinasi yang terlihat.
--	--	--	--

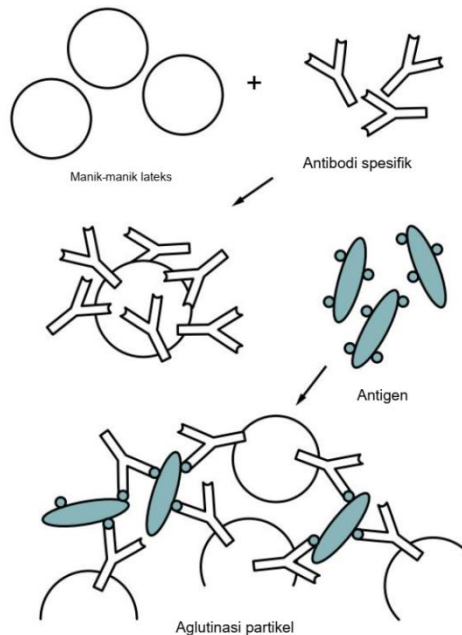
Kualitas hasil pengujian bergantung pada hal-hal teknis berikut.

- a. Waktu inkubasi dengan sumber antibodi (misalnya, serum pasien)
- b. Jumlah dan aviditas antigen yang dikonjugasikan ke reagen
- c. Kondisi lingkungan pengujian (misalnya, pH, konsentrasi protein)

Tes aglutinasi mudah dilakukan dan, dalam beberapa kasus, merupakan tes paling sensitif yang tersedia saat ini. Penting untuk dicatat bahwa kualitas hasil bergantung pada pelatihan yang tepat dari orang yang melakukan pengujian dan kepatuhan terhadap SOP dan kontrol kualitas yang ketat (misalnya, serum kontrol positif dan negatif). Tes tipe aglutinasi memiliki berbagai aplikasi dalam diagnosis klinis gangguan imun non-infeksi dan penyakit menular.

2. Aglutinasi Lateks

Dalam prosedur aglutinasi lateks (tabel 2.1), molekul antibodi dapat terikat pada permukaan manik-manik lateks. Banyak molekul antibodi dapat terikat pada setiap partikel lateks, meningkatkan potensi jumlah ikatan antigen-antibodi yang terpapar. Jika antigen hadir dalam spesimen uji seperti protein C-reaktif, antigen akan berikatan dengan antibodi yang terpapar pada permukaan manik-manik lateks, membentuk agregat silang yang terlihat dari manik-manik lateks dan antigen.

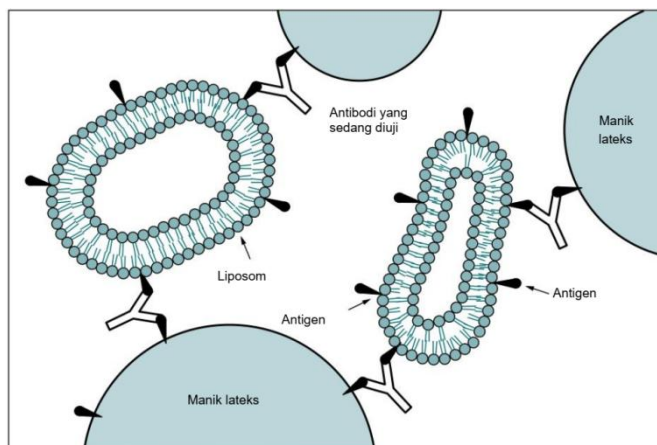


Gambar2.2 Penyeragaman Molekul Antibodi Yang Terikat Pada Permukaan Partikel Lateks Dan Reaksi Aglutinasi Lateks. (Diadaptasi Dari Forbes Ba, Sahm Df, Weissfeld As: Mikrobiologi Diagnostik Bailey Dan Scott, Ed 12, St Louis, 2007, Mosby.)

Dalam beberapa prosedur (misalnya, pengujian kehamilan, pengujian antibodi rubella), partikel lateks dapat dilapisi dengan antigen. Dengan adanya antibodi serum, partikel-partikel ini akan menggumpal menjadi gumpalan besar yang terlihat.

Prosedur yang didasarkan pada aglutinasi lateks harus dilakukan dalam kondisi standar. Jumlah pengikatan antigen-antibodi dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pH, osmolaritas, dan konsentrasi ion larutan. Berbagai kondisi dapat menghasilkan reaksi positif palsu atau negatif palsu dalam pengujian aglutinasi.

Koaglutinasi dan pengujian yang ditingkatkan dengan liposom adalah variasi dari aglutinasi lateks.



Gambar 2.3 Diagram Reaksi Aglutinasi Lateks Yang Ditingkatkan Dengan Liposom. (Diadaptasi Dari Tes Slide Neo-Planotest Ducoclox, Organon Teknika, Durham, Nc.)

Koaglutinasi menggunakan antibodi yang terikat pada partikel untuk meningkatkan visibilitas aglutinasi. Metode ini sangat spesifik tetapi mungkin tidak sepeka aglutinasi lateks untuk mendeteksi sejumlah kecil antigen.

3. Tes Flokulasi

Uji flokulasi untuk deteksi antibodi didasarkan pada interaksi antigen terlarut dengan antibodi, yang menghasilkan pembentukan endapan partikel halus. Partikel-partikel ini hanya terlihat secara makroskopis atau mikroskopis karena produk endapan tersebut terpaksa tetap berada dalam ruang terbatas.

Protokol Prosedural Alternatif Tes slide aglutinasi lateks telah digantikan dalam banyak situasi oleh uji imunologi berlabel warna kromatografi satu langkah untuk deteksi kualitatif hCG dalam urin (misalnya test pact kehamilan, Wampole PreVue hCG Stick atau Cassette). Pengujian flokulasi dapat digunakan dalam pengujian serologis sifilis . Tes-tes ini adalah tes Venereal Disease Research Laboratories (VDRL) dan rapid plasma reagin (RPR) klasik. Dalam tes VDRL, protein mirip antibodi mengikat antigen uji (reagen), partikel kolesterol berlapis kardiolipin-lesitin, dan menghasilkan partikel yang mengalami flokulasi. Dalam tes RPR, antigen, kolesterol berlapis kardiolipin-lesitin dengan kolin klorida, juga mengandung partikel carbon yang

memungkinkan flokulasi yang terlihat secara makroskopis.

4. Aglutinasi Bakteri Langsung

Aglutinasi langsung dari seluruh patogen dapat digunakan untuk mendeteksi antibodi yang ditujukan terhadap patogen tersebut. Tes paling dasar mengukur antibodi yang diproduksi oleh Host/inang terhadap determinan antigen pada permukaan agen bakteri sebagai respons terhadap infeksi dengan bakteri tersebut. Dalam suspensi bakteri yang kental, pengikatan antibodi spesifik ke antigen permukaan bakteri menyebabkan bakteri menggumpal bersama membentuk agregat yang terlihat. Jenis aglutinasi ini disebut aglutinasi bakteri.

Pembentukan agregat dalam larutan dipengaruhi oleh gaya elektrostatik dan gaya lainnya; oleh karena itu, kondisi tertentu biasanya diperlukan untuk hasil yang memuaskan. Penggunaan larutan garam fisiologis steril dengan ion positif bebas dalam prosedur aglutinasi meningkatkan agregasi bakteri karena sebagian besar permukaan bakteri menunjukkan muatan negatif yang menyebabkan bakteri saling tolak. Karena memberikan lebih banyak waktu untuk reaksi antigen-antibodi, pengujian tabung dianggap lebih sensitif daripada pengujian slide. Volume cairan kecil yang digunakan dalam pengujian slide membutuhkan pembacaan cepat sebelum cairan menguap.

5. Hemagglutinasasi

Metode pengujian hemagglutinasasi mendeteksi antibodi terhadap antigen eritrosit. Spesimen yang mengandung antibodi dapat diencerkan secara serial dan suspensi sel darah merah ditambahkan ke dalam pengenceran tersebut. Jika konsentrasi antibodi yang cukup ada, eritrosit akan terikat silang dan mengalami aglutinasi. Jika antibodi tidak bereaksi atau jumlah antibodi tidak mencukupi, eritrosit tidak akan mengalami aglutinasi. Dengan mengikat antigen yang berbeda ke permukaan sel darah merah dalam hemagglutinasasi tidak langsung atau hemagglutinasasi pasif, teknik hemagglutinasasi dapat diperluas untuk mendeteksi antibodi terhadap antigen selain yang ada pada sel.

Tabel 2.2 Metode Tidak Langsung Hemagglutinasasi

Tabel 2.2	Metode Tidak Langsung Hemagglutinasasi
1. Antinuclear ribonucleoprotein 2. Anti-Sm 3. Antithyroglobulin 4. Antithyroid microsome 5. Rubella antibodies 6. Sheep cell agglutination titer	

Bahan kimia seperti kromium klorida, asam tanat, dan glutaraldehida dapat digunakan untuk mengikat silang antigen ke sel. Beberapa antibodi (misalnya, imunoglobulin G [IgG]) tidak secara langsung mengaglutinasi eritrosit. Jenis antibodi yang tidak lengkap atau menghambat ini dapat dideteksi dengan

menggunakan media penguat seperti reagen AntiHuman Globulin (AHG) (juga dikenal sebagai reagen Coombs). Jika reagen AHG ditambahkan, antibodi kedua ini akan berikatan dengan antibodi yang ada pada eritrosit.

6. Mekanisme Aglutinasi

Aglutinasi adalah penggumpalan partikel yang memiliki antigen di permukaannya, seperti eritrosit, oleh molekul antibodi yang membentuk jembatan antara determinan antigenik. Ini adalah titik akhir untuk sebagian besar tes yang melibatkan antigen eritrosit. Aglutinasi dipengaruhi oleh sejumlah faktor dan diyakini terjadi dalam dua tahap, yaitu sensitisasi dan pembentukan kisi.

7. Sensitisasi

Fase pertama aglutinasi, yaitu sensitisasi, mewakili perlekatan fisik molekul antibodi pada antigen pada membran eritrosit. Kombinasi antigen dan antibodi adalah reaksi kimia yang reversibel. Mengubah sifat fisik dapat mengakibatkan pelepasan antibodi dari pengikatan antigen. Ketika kondisi sel eritrosit sengaja dibuat mengikat antigen. Ketika kondisi sel sengaja dimanipulasi untuk memecah kompleks antigen-antibodi, dengan pelepasan antibodi, Prosedur ini disebut sebagai elusi.

Jumlah antibodi yang akan bereaksi dipengaruhi oleh konstanta kesetimbangan, atau konstanta afinitas, antibodi. Dalam Dalam

kebanyakan kasus, semakin tinggi konstanta kesetimbangan, semakin tinggi pula nilainya.

Tingkat keterkaitan antara antigen dan antibodi dipengaruhi oleh berbagai faktor dan dapat diubah dalam beberapa kasus secara in vitro dengan mengubah beberapa faktor. yang memengaruhi hubungan antigen-antibodi, mengikuti:

- a. Muatan partikel
 - b. Konsentrasi dan viskositas elektrolit
 - c. Jenis antibodi
 - d. Rasio antigen terhadap antibody
 - e. Penentu antigenic
 - f. Kondisi fisik (misalnya, pH, suhu, durasi, inkubasi)
8. Jenis Antibodi.

Antibodi imunoglobulin M (IgM) Adalah lebih efisien dalam aglutinasi karena ukurannya yang besar dan Multivalensi memungkinkan jembatan penghubung yang lebih efektif. Antibodi IgG terlalu banyak, berukuran kecil untuk mengatasi gaya elektrostatis antar sel. Penggunaan AHG membentuk ikatan silang antara molekul antibodi yang memiliki Aglutinasi memungkinkan pengamatan visual terhadap reaksi antigen antibodi.

9. Rasio Antigen-Antibodi.

Dalam kondisi antibody berlebih, terdapat kelebihan tempat pengikatan antigen molekuler. Jika berlebih, terdapat kelebihan tempat pengikatan antigen molekuler. bergantung pada zona kesetaraan, zona di

mana optimum Presipitasi terjadi karena jumlah pelekatan multivalent Jumlah antigen dan antibodi kira-kira sama. Agar reaksi presipitasi dapat terdeteksi, reaksi tersebut harus terjadi dalam Jumlah antigen dan antibodi kira-kira sama. Di zona ini, setiap antibodi atau antigen mengikat lebih dari satu antigen atau antibodi, masing-masing, membentuk kisi atau jaringan yang stabil.

10. Penentu Antigenik.

Penempatan dan jumlah penentu antigenik memengaruhi aglutinasi. Misalnya, antigen golongan darah A memiliki lebih dari 1,5 juta pelekatan/sel darah merah, sedangkan antigen golongan darah Kell memiliki sekitar 3500 hingga 6000 pelekatan/sel darah merah. Jika jumlah antigenik sedikit atau jika pelekat antigenik terkubur jauh di dalam membransel, antibodi tidak akan mampu secara fisik reaksi antigen dan tantibodi.

11. pH

pH media yang digunakan untuk pengujian harus mendekati kondisi fisiologis, atau pH optimal 6,5 hingga 7,5. Pada pH netral, konsentrasi elektrolit yang tinggi dapat menetralkan muatan negatif partikel.

12. Suhu dan Lama Inkubasi

Suhu optimum yang dibutuhkan untuk mencapai keseimbangan dalam reaksi antibodi-antigen berbeda untuk setiap antibodi. Antibodi IgM bereaksi pada suhu dingin (kisaran suhu, 4°C hingga 22°C [39°F hingga 72°F]), dan

antibodi IgG bereaksi pada suhu hangat, dengan suhu reaksi optimum pada 37°C (98,6°F).

13. Metode untuk Meningkatkan Aglutinasi

Teknik yang digunakan untuk meningkatkan aglutinasi meliputi:

- a. Sentrifugasi
- b. Pemberian enzim proteolitik
- c. Penggunaan koloid
- d. Pengujian AHG (Anti Human globulin)

Perawatan dengan enzim proteolitik dan penggunaan koloid atau teknik AHG dapat diterapkan di laboratorium imunologi.

Sentrifugasi berupaya mengatasi masalah dengan memberikan gaya gravitasi tinggi pada sel yang telah disensitisasi, yang menetralkan efek tolak-menolak dan secara fisik memaksa sel-sel tersebut saling mendekat.

Perlakuan enzim mengubah konstanta dielektrik untuk meningkatkan peluang terjadinya aglutinasi yang dapat dibuktikan. Perlakuan enzim proteolitik ringan dapat menghilangkan sebagian muatan negatif pada membran sel dengan menghilangkan residu asam sialat permukaan (memecah sialoglikoprotein dari permukaan sel), yang mengurangi muatan permukaan sel dan memungkinkan sel-sel untuk saling mendekat untuk pengikatan kimiawi oleh molekul antibodi spesifik.

Dalam beberapa kasus, antigen mungkin tertanam sangat dalam di permukaan membran sehingga teknik sebelumnya tidak dapat

mendekatkan antigen dan antibodi cukup untuk terjadi ikatan silang. Tes AHG sering dimasukkan ke dalam protokol banyak teknik laboratorium untuk memfasilitasi aglutinasi. Tes AHG langsung dapat digunakan untuk mendeteksi gangguan seperti penyakit hemolitik pada bayi baru lahir, reaksi transfusi, dan diferensiasi imunoglobulin dari lapisan komplemen eritrosit.

14. Grading/penilaian Reaksi Aglutinasi


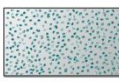






Pengamatan reaksi aglutinasi awalnya dilakukan dengan mengocok tabung reaksi yang berisi serum dan sel secara perlahan dan melihat bagian bawahnya berupa endapan, dengan kaca pembesar saat terdispersi. Karena aglutinasi adalah reaksi reversibel, tabung reaksi harus ditangani dengan hati-hati, dan pengocokan keras harus dihindari; namun, semua sel pada dasar tabung harus diresuspensikan sebelum pengamatan yang akurat dapat ditentukan.

Tabel 2.3 Penilaian Reaksi Aglutinasi

Tabel 2.3	Penilaian Reaksi Aglutinasi
Nilai	Keterangan
Negatif	Tidak ada agregat
Lapangan campuran	Beberapa agregat terisolasi; sebagian besar sel mengambang bebas; supernatan tampak merah.
Lemah (\pm)	Agregat kecil yang hampir tidak terlihat Secara makroskopis; banyak eritrosit bebas; supernatan keruh dan kemerahan
1+	Beberapa agregat kecil terlihat samar-samar. Beberapa agregat kecil terlihat samar-samar. supernatan keruh dan kemerahan
2+	Agregat berukuran sedang; beberapa gratis

	eritrosit; supernatan jernih
3+	Beberapa agregat besar; beberapa gratis eritrosit; supernatan jernih
4+	Semua eritrosit bergabung menjadi satu. agregat padat; supernatan jernih.

Perhatian juga harus diberikan pada apakah terdapat perubahan warna pada cairan di atas sel, yaitu supernatan. Pecah atau hemolisis eritrosit merupakan temuan yang sama pentingnya dengan aglutinasi. Kekuatan aglutinasi (Tabel 2.3, Gambar 2.4), yang disebut grading, menggunakan skala 0, atau negatif (tidak ada aglutinasi), hingga 41 (semua eritrosit menggumpal). Tabel 2.4 menjelaskan reaksi positif palsu dan negative palsu.

NILAI	KETERANGAN		PENAMPILAN	
	Sel	Supernat	Makroskopis*	Mikroskopis†
0	Tidak ada aglutinasi	Celap, keruh, homogen		
1*	Banyak aglutinat kecil Banyak sel bebas Mungkin tidak terlihat tanpa mikroskopis.	Celap, keruh		
1	Banyak aglutinat kecil Banyak sel bebas	Keruh		
2	Banyak aglutinat berukuran sedang Jumlah sel bebas yang sedang	Jernih		
3	Beberapa aglutinat besar Sedikit sel bebas	Jernih		
4	Satu aglutinat padat berukuran besar Tidak ada sel bebas	Jernih		

*Untuk setiap tingkatan, pembacaan dapat berada pada skala dari lemah hingga kuat (misalnya, tingkatan 2 dapat diberi skor 2w, 2, atau 2s, tergantung pada jumlah dan ukuran aglutinat).
†Pembacaan mikroskopis umumnya dilakukan untuk membedakan pseudoglutinasi (rouleaux) dari aglutinasi sejati, untuk mendeteksi reaksi medan campuran, dan untuk mengkonfirmasi reaksi negatif.

Gambar 2.4. Membaca Reaksi Aglutinasi Sel Darah Merah. (Dari Lehman Ca: Saunders Manual Of Clinical Laboratory Science, Philadelphia, 1998, Saunders, Hlm. 394-395.)

Tabel 2.4 Penyebab Positif Palsu dan Hasil Positif Palsu Reaksi Tes Aglutinasi Negatif

Tabel 2.4	Penyebab Positif Palsu dan Hasil Positif Palsu Reaksi Tes Aglutinasi Negatif
Penyebab Reaksi Positif Palsu	Koreksi
Peralatan yang terkontaminasi atau reagen dapat menyebabkan partikel menggumpal.	Menyimpan peralatan dan reagen dalam lingkungan yang bersih dan bebas debu, dan Tangani dengan hati-hati. Gunakan kualitas negative langkah-langkah kontrol kualitas (QC).
Autoaglutinasi	Gunakan kontrol dengan larutan garam. dan tidak ada antibodi sebagai kontrol negatif. Jika positif, hasil pasien tidak valid.
Penundaan dalam membaca slide reaksi tersebut mengakibatkan pengeringan keluar dari campuran.	Ikuti prosedur yang telah ditetapkan. petunjuk dan baca reaksi tepatnya seperti yang ditentukan.
Sentrifugasi berlebihan menyebabkan sel atau partikel juga menggumpal rapat.	Kalibrasi sentrifugasi untuk kecepatan dan waktu yang tepat.
Reaksi Negatif Palsu	
Pencucian merah yang tidak memadai sel darah pada antimanusia pengujian globulin (AHG)* dapat menghasilkan tidak terikat immunoglobulin immunoglobulin.	Cuci sel sesuai dengan petunjuk. Gunakan kata positif dan negatif. Langkah-langkah QC.
Gagal menambahkan reagen AHG	Gunakan langkah-langkah QC yang positif.
Terkontaminasi atau kedaluwarsa reagen	Gunakan kata positif dan negatif. Langkah-langkah QC.
Inkubasi yang tidak tepat	Ikuti protokol prosedural. tepat. Gunakan kata positif dan negatif. langkah kontrol.
Sentrifugasi bawah	Kalibrasi sentrifugasi untuk kecepatan dan waktu yang tepat.
Fenomena Prozone	Encerkan serum pasien mengandung antibodi, dan mengandung antibodi, dan

Pseudoaglutinasi, atau penampakan penggumpalan palsu, jarang terjadi karena pembentukan rouleaux. Pembentukan rouleaux dapat ditemukan pada pasien dengan kadar globulin tinggi atau abnormal dalam tubuh mereka pasien dengan kadar globulin tinggi atau abnormal dalam tubuh mereka. Pada pemeriksaan mikroskopis, eritrosit tampak seperti gulungan yang menyerupai tumpukan koin. Untuk menyebarkan pseudoaglutinasi, beberapa tetes NaCl fisiologis (Larutan garam) dapat ditambahkan ke tabung reaksi, dicampur ulang, dan diperiksa kembali. Prosedur ini, penggantian larutan garam, harus dilakukan dengan hati-hati setelah diduga terjadi pseudoaglutinasi. Hal ini tidak boleh dilakukan sebelum protokol pengujian awal diikuti; hasil negatif palsu dapat terjadi akibat pengenceran. efek dari larutan garam.

15. Reaksi Aglutinasi Mikropelat

Pengujian serologis biasanya dilakukan dengan cara slide test. teknik tabung, tetapi peningkatan penekanan pada pengendalian biaya telah merangsang minat pada teknik mikro sebagai alternatif metode konvensional. Metode mikro untuk sel darah merah Pengujian antigen dan antibodi meliputi hemaglutinasi dan pengujian adhesi fase padat. Metode ini juga dianggap lebih mudah dilakukan.

Penggunaan mikroplat memungkinkan untuk kinerja sejumlah besar pengujian pada satu pelat, yang menghilangkan langkah-

langkah yang memakan waktu seperti pengujian pelabelan. tabung. Mikroplat adalah pelat kompak yang terbuat dari plastik kaku atau fleksibel. dengan banyak sumur. Sumur-sumur tersebut mungkin berbentuk U atau datar. konfigurasi bawah. Sumur berbentuk U telah paling banyak digunakan Sering digunakan dalam imunhematologi. Kapasitas volume setiap sumur. Volume tabung kira-kira 0,2 mL, yang mencegah tumpahan selama pencampuran. Sampel dan reagen dituang dengan jarum berdiameter kecil. Pipet Pasteur. Pipet ini direkomendasikan karena Tuangkan 0,025 mL, yang mencegah percikan. Setelah spesimen dan reagen ditambahkan ke dalam sumur, keduanya dicampur dengan cara pengocokan pelat secara perlahan. Mikropelat kemudian disentrifugasi untuk pembacaan langsung. Sentrifugal model meja atau lantai cocok jika dilengkapi dengan rotor khusus yang dapat menampung pembawa sentrifugasi pelat mikro dan mampu mencapai kecepatan 400 hingga 2000 rpm. Pelat yang lebih kecil dapat disentrifugasi dalam sentrifugasi serologis dengan adaptor yang sesuai Setelah sentrifugasi, gumpalan sel diresuspensikan dengan dengan mengetuk mikropelat secara perlahan atau dengan menggunakan alas datar.

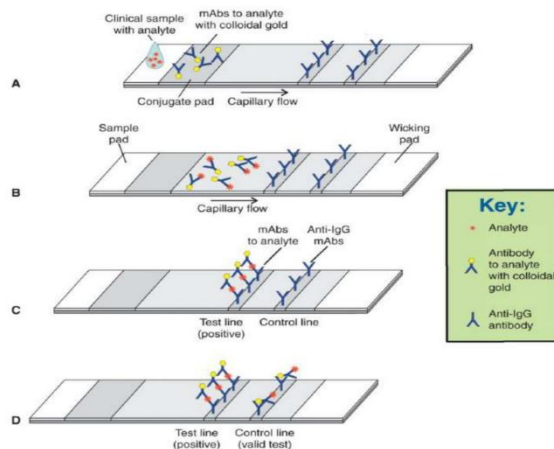
C. Imunokromatografi

Imunokromatografi adalah tes berbasis reaksi antigen-antibodi melalui membran yang mudah dilakukan dan memberikan hasil yang dapat direproduksi. Meskipun dirancang terutama untuk pengujian di tempat perawatan, banyak di antaranya yang digunakan di laboratorium klinis karena. Meskipun dirancang terutama untuk pengujian di tempat perawatan, banyak di antaranya yang digunakan di laboratorium klinis karena Membran dan luas permukaannya yang besar meningkatkan imunofiltrasi sampel untuk memberikan kecepatan dan tingkat sensitivitas yang tinggi. Metode ini merupakan immunoassay dua langkah di mana antigen atau antibodi dalam sampel pasien terlebih dahulu diserap ke dalam membran yang mengandung antibodi atau antigen yang sesuai. Setelah Langkah pencucian, reagen pendeteksi ditambahkan. Reaksi tersebut kemudian dibaca dengan mencari keberadaan produk reaksi berwarna.

Metode imunokromatografi yang lebih baru menggabungkan semua langkah yang disebutkan sebelumnya menjadi satu langkah. Analit diaplikasikan pada salah satu ujung strip dan bermigrasi ke ujung distal, di mana terdapat bantalan penyerap untuk mempertahankan laju aliran kapiler yang konstan. Zona pelabelan dan deteksi diatur di antara kedua ujungnya. Sampel ditambahkan ke titik aplikasi; titik aplikasi juga mengandung antigen atau antibody berlabel yang terkonjugasi dengan partikel lateks berwarna atau

emas koloid. Sampel Menyusun kembali konjugat, di mana keduanya membentuk kompleks yang bermigrasi melintasi membran.

Antigen atau antibodi yang diimmobilisasi dalam zona deteksi menangkap kompleks imun dan membentuk garis berwarna untuk hasil tes positif ketika immunoassay menggunakan format nonkompetitif (gambar 2.5). Imunokromatografi ini telah digunakan untuk mendeteksi beragam analit yang diinginkan.



Gambar 2.5 Uji Imunokromatografi Nonkompetitif. (A) Sampel Pasien Ditambahkan Ke Kaset Yang Berisi Antibody Berlabel Emas Koloid. (B) Sampel Bergabung Dengan Antibody Dan Digerakkan Oleh Aliran Kapiler. (C) Antibodi Monoklonal Terhadap Analit Menangkap Antigen Pasien Yang Melekat Pada Antibodi Berlabel Emas. (D) Garis Kontrol Memiliki Antibody Yang Menangkap Antibodi Koloidal Berlabel Emas. (Fakultas Kedokteran Universitas Nevada.)

Contoh prototipe penggunaan rapid immunoassay meliputi deteksi hormon human chorionic gonadotropin (hCG) sebagai indikator kehamilan (Gambar 2.6)



Gambar 2.6 Immunoassay Cepat Untuk Human Chorionic Gonadotropin (Hcg). Kontrol Negatif (Kiri) Mempunyai Garis Di Wilayah Kontrol Saja. Kontrol Positif (Kanan) Memiliki Garis Di Wilayah Kontrol (C) Dan Wilayah Pengujian (T). Garis Kontrol Harus Ada Agar Hasilnya Valid, Apa Pun Hasil Tesnya. (Foto Milik Dr. Paul Johnson.)

Desain imunokromatografi yang diilustrasikan pada Gambar 1-6 didasarkan pada desain capture atau nonkompetitif. Beberapa sistem pengujian baru, yang masih menggunakan materi serupa, didasarkan pada format kompetitif. Hasil ini harus diinterpretasikan dengan hati-hati karena garis yang diamati menunjukkan hasil negatif, dan tidak adanya garis merupakan hasil positif. Tes skrining cepat untuk mendeteksi penyalahgunaan narkoba merupakan salah satu contoh format ini. Metode imunokromatografi satu langkah yang kompetitif mengandung antibodi pendeteksi yang teradsorpsi pada partikel emas koloid, yang kemudian dikeringkan ke seluruh permukaan membran. Konjugat obat (obat yang terikat pada

albumin serum sapi) dibuat untuk setiap obat yang dideteksi, yang semuanya diimobilisasi ke posisi garis uji yang unik pada membran. Ketika sampel (urin) ditambahkan, sampel tersebut menyebar ke seluruh permukaan membran putih.

Saat melewati setiap jalur pengujian, sampel urin bebas obat melarutkan kompleks antibodi-partikel emas di setiap jalur, sehingga menghasilkan pengamatan garis berwarna ungu-merah. Obat apa pun yang ada dalam sampel akan menghambat reaksi tersebut, sehingga tidak ada garis yang terlihat pada latar belakang membran putih. Karena metode ini didasarkan pada desain kompetitif, hal ini dapat menimbulkan. Konjugat obat (obat yang terikat pada albumin serum sapi) dibuat untuk setiap obat yang dideteksi, yang semuanya diimobilisasi ke posisi garis uji yang unik pada membran. Ketika sampel (urin) ditambahkan, sampel tersebut menyebar ke seluruh permukaan membran putih. Saat melewati setiap jalur pengujian, sampel urin bebas obat melarutkan kompleks antibodi-partikel emas di setiap jalur, sehingga menghasilkan pengamatan garis berwarna ungu-merah. Obat apa pun yang ada dalam sampel akan menghambat reaksi tersebut, sehingga tidak ada garis yang terlihat pada latar belakang membran putih. Karena metode ini didasarkan pada desain kompetitif.

D. ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*)

Meskipun prinsip dasar teknik ELISA dan radioimunoassay (RIA) sudah ada sejak tahun 1941. Menggunakan metode baru ini untuk menentukan kadar IgG dalam serum kelinci. Setelah penemuan ELISA, sejumlah peneliti menggunakan metode ini seperti Carlson dan kawan-kawan pada tahun 1972, Holmgren dan Svennerholm dalam mikrobiologi diagnostik pada tahun 1973 memodifikasi uji ELISA dan menggabungkan pelat mikrotitrasi untuk mengidentifikasi konsentrasi berbagai hormon, peptida, dan protein. Metode ELISA telah diterapkan dalam berbagai bidang dan berkembang melampaui seiring berjalannya waktu telah menjadi metode yang rutin digunakan di laboratorium penelitian dan diagnosis di seluruh dunia.

Bagaimana cara kerja metode ELISA?

Antigen yang digunakan dalam metode ELISA terikat pada fase padat. Tabung dan pelat mikro yang terbuat dari polistirena kaku, polivinil, dan polipropilena digunakan sebagai fase padat. Pelat mikro yang digunakan harus mampu mengadsorpsi antigen dan antibodi dengan baik, tetapi tidak dapat mengadsorpsi komponen-komponen dalam fase lainnya.

Enzim yang dapat digunakan dalam ELISA meliputi beta galaktosidase, glukosa oksidase, peroksidase, dan alkali fosfatase. Fosfatase alkali dapat disimpan pada suhu 40 C dengan konjugatnya natrium azide. Alkali fosfatase dan P-nitro-fenil fosfat digunakan sebagai substrat, tersedia dalam bentuk tablet, dan menghasilkan

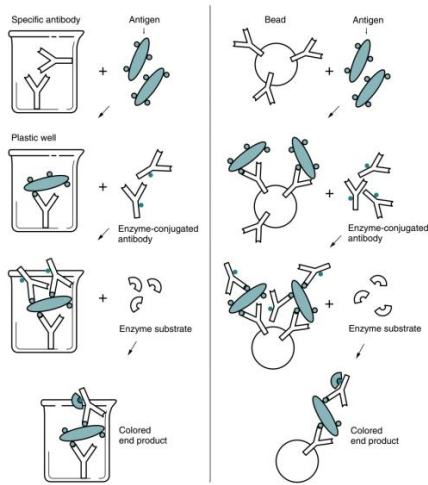
warna kuning pada reaksi positif. Untuk konjugat peroksidase, 5 amino salicylic acid dan ortofenilendiamin digunakan sebagai substrat dan menghasilkan warna coklat dianggap sebagai reaksi positif. Jika beta galaktosidase digunakan, sampel harus dibaca dalam fluorometer. Efek katabolik enzim menentukan percepatan dan spesifisitas reaksi imunologis selama reaksi enzim-substrat. Reaksi enzim-substrat biasanya selesai dalam waktu 30–60 menit. Reaksi dapat dihentikan menggunakan natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl) atau asam sulfat (H₂SO₄). Hasilnya dibaca pada spektrofotometer dan pada 400–600 nm tergantung pada karakteristik konjugat yang digunakan.

1. Jenis-jenis ELISA

Metode Immunoassay enzimatik terdiri dari dua metode yaitu metode immunoassay enzimatik homogen dan metode immunoassay enzimatik heterogeny. Dalam metode imunoasai enzimatik homogen, enzim menjadi nonaktif Ketika terikat pada antibodi, sehingga tidak ada tahap (pencucian) dimana antigen dipisahkan dari medium. Metode imunoasai enzimatik homogen biasanya digunakan untuk mengukur zat dalam jumlah kecil, seperti obat terapeutik. Metode homogen mahal dan memiliki sensitivitas rendah. Satu-satunya keuntungannya Adalah kemudahan penggunaannya.

Metode immunoassay enzimatik heterogeny lebih umum digunakan. Dalam

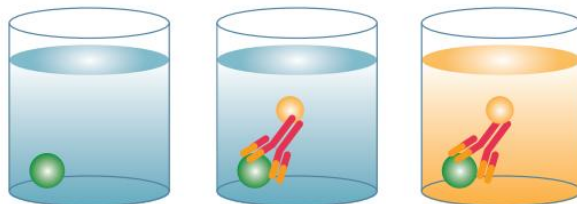
metode ELISA, untuk mencegah interferensi molekul apapun dalam medium setelah pengikatan antigen dan antibodi, kompleks antigen-antibodi di ikat ke dinding tabung dan selain ikatan antigen dan antibodi tidak dibutuhkan dihilangkan dari medium melalui prosedur pencucian. Dengan kata lain, dalam metode immunoassay enzimatik heterogen, penting untuk memiliki tahap pencucian untuk memisahkan antigen terikat dari antigen bebas setelah interaksi antigen antibodi. Karena metode heterogen lebih sensitif dari pada yang homogen, metode ini lebih umum digunakan. ELISA adalah teknik immunoassay heterogen yang digunakan untuk mendeteksi antibodi spesifik dan antigen yang larut, dan karena Struktur dan karakteristik zat yang diukur tidak selalu sama, berbagai jenis ELISA telah dikembangkan untuk meningkatkan spesifisitas pengukuran. Deskripsi skematis metodei mmunoassay enzimatik homogen dan immunoassay enzimatik heterogen disajikan pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 . fase padat metode enzim immunoassay

2. ELISA Direct (langsung)

Metode ELISA Direct cocok untuk menentukan jumlah antigen berbobot molekul tinggi. Permukaan pelat dilapisi langsung dengan antibodi atau antigen. Antibodi atau antigen yang diberi label enzim memungkinkan pengukuran. Inkubasi dilanjutkan dengan pencucian yang menghilangkan antigen atau antibodi yang tidak terikat dari medium. Kemudian, substrat yang sesuai ditambahkan ke medium untuk menghasilkan sinyal melalui pewarnaan. Sinyal tersebut diukur untuk menentukan jumlah antigen atau antibodi.

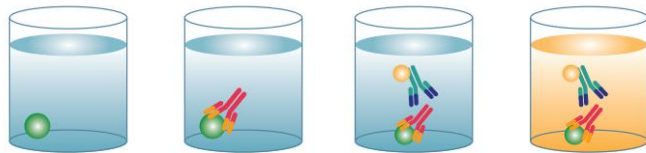


Gambar 2.8. Prinsip ELISA Direct (Langsung)

3. ELISA Indirect (Tidak Langsung)

Alasan mengapa metode ini disebut metode tidak langsung adalah karena yang menentukan dan memisahkan antigen yang akan diukur bukanlah antibodi primer, melainkan antibodi lain yang ditempatkan dalam medium. Dalam metode ini, serum yang terinfeksi ditambahkan ke dalam sumur berlapis antigen dan pelat diinkubasi.

Selama inkubasi ini, antibodi yang terbentuk melawan antigen dalam plak serum yang terinfeksi menghasilkan kompleks antigen-antibodi. Agar kompleks antigen-antibodi terlihat, antibodi sekunder yang mengenali antibodi dalam serum dan ditandai dengan enzim ditambahkan. Kemudian, substrat enzim ditambahkan ke dalam medium untuk menghasilkan warna dan konsentrasinya ditentukan



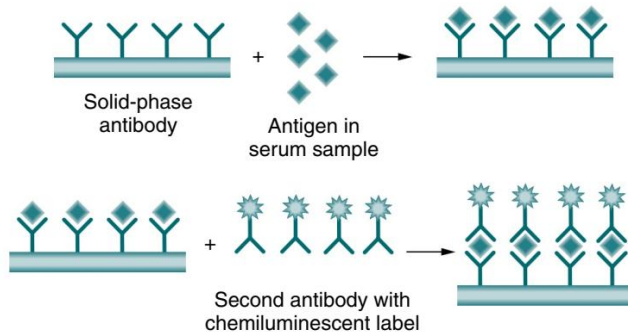
Gambar 2.9 . Prinsip Elisa Indirect (Tidak Langsung)

4. Sandwich ELISA

Teknik ini dikembangkan pada tahun 1977 Kato dan rekan kerjanya. Dalam metode ELISA ini, sumur dilapisi dengan antibodi penangkap dan diblokir. Sampel ditambahkan ke sumur mikroplat yang dilapisi dengan antibodi; kemudian, plat diinkubasi selama beberapa waktu dan dicuci. Pencucian menghilangkan

antigen yang tidak terikat. Ketika antigen spesifik terhadap antibodi terikat ditemukan, antigen ini tidak dapat dihilangkan. Setelah langkah pencucian, antibodi yang ditandai dengan enzim spesifik terhadap antigen ditambahkan dan diinkubasi. Setelah inkubasi dan pencucian, jika ada antigen dalam medium, ini tidak dapat dihilangkan karena antibodi yang ditandai enzim terikat padanya. Untuk mengungkapkan aktivitas enzim, substrat enzim ditambahkan ke medium dan pewarnaan dilakukan.

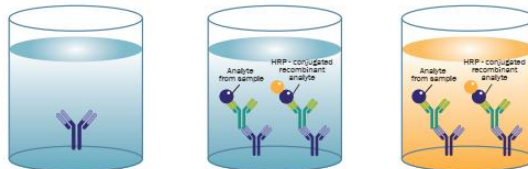
Pewarnaan menunjukkan hasil positif, sementara tidak ada warna menunjukkan kurangnya enzim, atau hasil negatif. Karena protein yang relevan terjepit di antara dua molekul antibodi, metode ini disebut Sandwich ELISA. Sandwich ELISA dilaporkan 2–5 kali lebih sensitif daripada semua ELISA lainnya.



Gambar 2.10 . Prinsip ELISA Sandwich

5. LISA kompetitif (skrining antigen/antibodi)
Teknik ini dikembangkan pada tahun 1976 oleh Yorde dan rekan kerjanya (20). Dalam metode ini, permukaan sumur dilapisi dengan antibodi

spesifik antigen atau antigen spesifik antibodi. Sampel yang akan diukur dan antigen atau antibodi yang diberi label enzim ditempatkan ke dalam sumur secara bersamaan. Yang diberi tanda dan yang tidak diberi tanda satu sama lain untuk mengikat antibodi atau antigen di dalam sumur. Setelah sumur-sumur dicuci dan substrat enzim ditambahkan, pewarnaan yang dihasilkan memungkinkan kuantifikasi konsentrasi. Ada proporsi terbalik antara konsentrasi analit dan intensitas warna yang dihasilkan. Dengan kata lain, ketika jumlah antigen atau antibodi yang dianalisis dalam serum adalah absorban rendah.



Gambar 2.11. Prinsip ELISA Sandwich

Cara kerja Praktis ELISA: Coating, Blocking, Inkubasi, Pencucian, Deteksi

3.	Tambahkan 0,1 ml (100 μL) buffer Sampel/Standar ke dalam sumur kontrol (nol).
4.	Tambahkan 0,1 ml (100 μL) sampel /sampel yang diencerkan dengan benar (serum manusia, plasma, homogenat jaringan, dan cairan biologis lainnya) ke dalam sumur sampel uji.
5.	Tutup pelat dengan penutup dan inkubasi pada suhu 37 °C selama 90 menit.
6.	Lepaskan penutup dan buang isi pelat. Kemudian, letakkan pelat di atas kertas saring penyerap atau bahan penyerap lainnya. JANGAN biarkan wadah benar-benar kering. Cuci pelat 2X.
7.	tambahkan 0,1 ml (100 μL) larutan antibodi pendeteksi biotin ke dalam sumur-sumur di atas (sumur standar, sampel uji, & sumur blanko). Tambahkan larutan ke dasar setiap sumur, hindari kontak dengan dinding samping.
8.	Tutup pelat dengan penutup dan inkubasi pada suhu 37°C selama 60 menit.
9.	Lepaskan penutup, lalu cuci pelat 3 kali dengan buffer pencuci. Diamkan buffer pencuci di dalam sumur selama 1 menit di antara setiap pencucian.
10.	Tambahkan 0,1 ml (100 μL) larutan kerja SABC ke dalam setiap sumur, tutup pelat, dan inkubasi pada suhu 37°C selama 30 menit.
11.	Lepaskan penutup dan cuci pelat sebanyak 5 kali dengan buffer pencucian, biarkan buffer pencucian tetap berada di dalam sumur selama 1-2 menit setiap kali.
12.	Tambahkan 90 μL substrat TMB ke dalam setiap sumur, tutup pelat, dan inkubasi pada suhu 37°C di tempat gelap selama 15-30 menit. (Catatan: Waktu inkubasi ini hanya untuk referensi; pengguna akhir yang menentukan waktu optimal.) Nuansa biru dapat terlihat pada 3-4 sumur pertama (dengan larutan standar paling pekat), sedangkan sumur lainnya tidak menunjukkan warna yang jelas.
13	Tambahkan 50 μL larutan Stop ke dalam setiap sumur dan aduk rata. Warnanya langsung berubah menjadi kuning.
14	Baca absorbansi O.D. pada 450 nm dalam pembaca mikroplat segera setelah menambahkan larutan

6. Pembacaan dan interpretasi hasil
Uji ELISA dapat diklasifikasikan sebagai berikut berdasarkan jenis data yang diperoleh:
 - a. ELISA kualitatif: hanya menentukan keberadaan antigen atau antibodi dalam sampel.
 - b. ELISA semi-kuantitatif: memungkinkan perbandingan relatif kadar antigen antarsampel.
 - c. ELISA kuantitatif: memungkinkan penghitungan jumlah antigen dalam sampel. memerlukan perbandingan nilai yang diukur untuk sampel dengan kurva standar yang dibuat dari pengenceran serial
7. Kelebihan, Kekurangan, dan Aplikasi Luas ELISA
Dalam beberapa tahun terakhir, uji ELISA telah digunakan secara umum dalam analisis peptida dan protein. Ini adalah uji yang sensitif dan spesifik yang menghasilkan hasil dengan cepat. Ini memiliki area aplikasi yang luas karena kemudahan penggunaan dan kecepatannya. Tes ELISA hampir sama sensitifnya dengan RIA dan tidak memerlukan peralatan khusus atau label radioaktif. Namun, keandalannya rendah, dibandingkan dengan RIA. keuntungan dan perbedaan tes ELISA disajikan pada tabel.

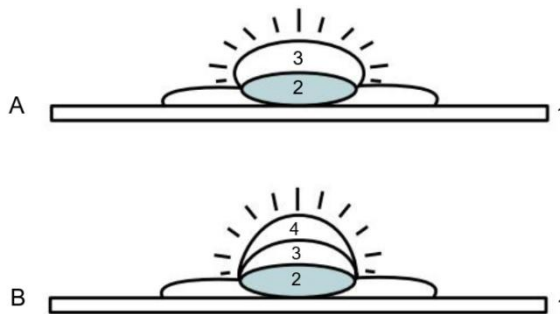
Tabel 2.6. Kelebihan, Kekurangan

	Keuntungan	Kekurangan
ELISA Direct	Protokol pendek: menghemat waktu dan reagen. Tidak ada reaktivitas silang dari antibodi sekunder.	Potensi tercemar tinggi: semua protein dalam sampel terikat ke permukaan. Tidak ada amplifikasi sinyal. Fleksibilitas rendah: antibodi primer harus dikonjugasikan.
ELISA Indirect	Amplifikasi sinyal: beberapa antibodi sekunder akan mengikat antibodi primer. Fleksibilitas tinggi: antibodi sekunder yang sama dapat digunakan untuk beberapa antibodi primer.	Protokol yang panjang jika dibandingkan dengan ELISA langsung. Potensi reaktivitas silang dari antibodi sekunder.
Sandwich ELISA	Spesifisitas tinggi: melibatkan dua antibodi yang mendeteksi epitop berbeda pada antigen yang sama. Cocok untuk sampel yang kompleks. Fleksibilitas dan sensitivitas tinggi: metode langsung dan tidak langsung dapat digunakan.	Desain yang menantang: menemukan dua antibodi terhadap target yang sama yang mengenali epitop yang berbeda dan bekerja sama dengan baik terkadang dapat menjadi tantangan.
Kompetitif ELISA	Cocok untuk molekul kecil dan peptida pendek. Efek matriks diminimalkan: hanya satu antibodi yang digunakan.	Antigen yang bersaing harus dikonjugasikan. Desain yang menuntut: potensi reaktivitas silang dari antibodi dengan molekul kecil lainnya. Protokol dapat lebih rumit dan memakan waktu daripada ELISA standar. Sampel

		dengan konsentrasi lebih rendah dapat lebih sensitif terhadap varians OD antar replikasi.
--	--	---

E. Imunofluoresen

Pelabelan fluoresen adalah metode lain yang digunakan untuk menunjukkan pembentukan kompleks antara antigen dan antibodi (Gambar 2.14). Molekul fluoresen digunakan sebagai pengganti label radioisotop atau enzim.



Gambar 1-14 Prinsip Teknik Fluoresensi Langsung Dan Tidak Langsung. A, Fluoresensi Langsung. B, Fluoresensi Tidak Langsung. 1, Preparat Mikroskopis; 2, Sel (Sitoplasma Dan Inti); 3, Antiserum (Konjugat Pada A, Tidak Terkonjugasi Pada B); 4, Serum Antiglobulin Terkonjugasi.

Teknik antibodi fluoresen terdiri dari pemberian label pada antibodi dengan fluorescein isothiocyanate (FITC), suatu senyawa fluoresen yang memiliki afinitas terhadap protein, untuk membentuk kompleks (konjugat). Konjugat ini mampu bereaksi dengan antigen spesifik antibodi. Teknik fluoresensi sangat spesifik dan sensitif. Antibodi dapat dikonjugasikan dengan penanda lain selain pewarna fluoresen. Penggunaan penanda disebut deteksi probe imunologi kolorimetrik.

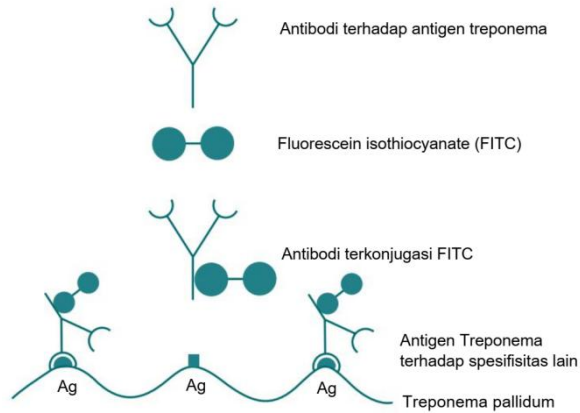
Penggunaan sistem penanda enzim-substrat telah diperluas. Label enzim terkonjugasi HRP, ALP, dan avidin-biotin semuanya telah digunakan sebagai penanda visual untuk keberadaan antibodi. Reagen ini memiliki keunggulan karena hanya membutuhkan mikroskop cahaya standar.

Fluoresen konjugat digunakan dalam metode dasar berikut:

- a. Direct immunofluorescent assay
- b. Inhibition immunofluorescent assay
- c. Indirect immunofluorescent assay

1. Direct Immunofluorescent Assay

Metode Direct fluorescent antibody (DFA) antibody digunakan untuk mendeteksi reaksi antigen-antibodi pada tingkat mikroskopis (Gambar 2.15). DFA dapat diterapkan pada potongan jaringan atau pada apusan untuk mikroorganisme. Antibodi terkonjugasi fluorescein yang terikat pada fluorokrom FITC digunakan untuk memvisualisasikan banyak bakteri dalam spesimen langsung. HRP yang terkonjugasi dengan antibodi, pewarna imunoperoxidase, dapat digunakan untuk mendeteksi CMV, virus lain, atau asam nukleat dalam sel. Dalam metode biotin-avidin, yang terkonjugasi enzim, probe asam nukleat untai tunggal, antibodi antimikroba, atau antibodi antibiotin dapat diikat ke molekul biotin kecil.



Gambar 2.15 Metode Direct Fluorescent Antibody (Dfa). Setelah Pelabelan Antibodi Spesifik Dengan Fitc, Antibodi Tersebut Dapat Bereaksi Dengan Antigennya Dan Diidentifikasi Secara Mikroskopis.

Molekul-molekul ini memiliki afinitas yang kuat terhadap protein avidin, yang memiliki empat tempat pengikatan. Biotin yang terikat pada avidin atau antibodi dapat dikomplekskan dengan pewarna fluoresen atau enzim penghasil warna untuk membentuk sistem detektor spesifik. Sistem ini dapat diterapkan untuk mendeteksi asam nukleat dalam organisme seperti CMV, virus hepatitis B (HBV), dan virus Epstein-Barr (EBV). Manipulasi kimia dalam pemberian label antibodi dengan pewarna fluoresen untuk memungkinkan deteksi melalui pemeriksaan mikroskopis langsung tidak secara serius mengganggu aktivitas antibodi, yaitu kemampuan konjugat antibodi fluoresen untuk bereaksi secara spesifik dengan antigen homolognya.

Monoklonal Antibody (MAbs) juga telah berhasil dikonjugasikan dengan fluorescein untuk mendeteksi klamidia, virus rabies, dan

patogen lainnya pada spesimen yang diwarnai secara langsung. Ketika absorban cahaya dengan panjang gelombang tertentu, suatu zat fluoresen memancarkan cahaya dengan panjang gelombang lain (lebih panjang). Dalam mikroskopi antibodi fluoresen (FA) , cahaya yang tampak atau eksitasi seringkali berwarna biru kehijauan hingga berwarna ultraviolet. Cahaya tersebut disediakan oleh lampu merkuri bertekanan tinggi dengan filter primer (misalnya, biru-violet) di antara lampu dan objek yang hanya melewatkan panjang gelombang yang mengeksitasi fluorescein. Warna cahaya yang dipancarkan bergantung pada sifat zat tersebut.

Fluorescein memancarkan cahaya kuning kehijauan dan rhodamin berfluoresensi di bagian spektrum merah. Warna yang diamati dalam mikroskop fluoresensi bergantung pada filter sekunder atau penghalang yang digunakan pada lensa okuler. Filter kuning menyerap fluoresensi hijau dari fluorescein dan hanya meneruskan warna kuning. Fluorescein memancarkan warna hijau apel yang intens ketika tereksitasi.

2. Inhibition Immunofluorescent Assay

Inhibition Immunofluorescent Assay adalah uji pemblokiran di mana antigen pertama-tama dipaparkan pada antibodi tak berlabel dan kemudian pada antibodi berlabel, dan akhirnya dicuci dan diperiksa. Jika antibodi tak berlabel dan berlabel keduanya homolog dengan

antigen, seharusnya tidak ada fluoresensi. Hasil mengkonfirmasi spesifisitas teknik Immunofluorescent Assay. Antibodi dalam serum yang tidak diketahui juga dapat dideteksi dan diidentifikasi dengan uji inhibisi.

3. Indirect Immunofluorescent Assay

Dasar Indirect Immunofluorescent Assay (IFA) adalah bahwa antibody (imunoglobulin) tidak hanya bereaksi dengan antigen homolog, tetapi juga dapat bertindak sebagai antigen dan bereaksi dengan antiimunoglobulin (tabel 2.7). IFA adalah metode serologis yang paling banyak digunakan untuk mendeteksi berbagai antibodi. Imunofluoresensi digunakan secara luas dalam deteksi autoantibodi dan antibodi terhadap antigen jaringan dan seluler. Misalnya, antinuclear antibodies (ANA) yang beredar dan heterogen yang bereaksi dengan seluruh nukleus atau komponen nukleus (misalnya, protein nukleus, DNA, histon) dalam jaringan inang sering diuji dengan fluoresensi tidak langsung. Dengan menggunakan potongan jaringan yang mengandung sejumlah besar antigen, dimungkinkan untuk mengidentifikasi antibodi terhadap beberapa antigen yang berbeda dalam satu pengujian. Antigen dibedakan berdasarkan pola pewarnaan yang berbeda.

Tabel 2.7 Pemeriksaan menggunakan Indirect Fluorescent Antibody

Antiadrenal antibodies
Antibody (histone-reactive [HR]-ANA)
Anticentriole antibodies

Anticentromere antibodies
Anti-glomerular basement membrane antibodies
Anti-islet cell antibodies
Anti-liver-kidney microsomal (LKM) antibodies
Antimitochondrial
Antimyeelin
Antimyocardial
Antinuclear antibody
Anti-parietal cell
Antiplatelet
Antireticulin
Antiribosome
Antiskin (dermal-epidermal)
Antiskin (interepithelial)
Anti-smooth muscle
Antistriational
Cytomegalovirus (IgM antibody)
Histone-reactive antinuclear antibody (HR-ANA)
Human immunodeficiency virus (total and IgM antibody)
Immunoglobulin M (IgM) antibodies (antigen specific)
Lymphocyte typing
Rubella virus antibody
Toxoplasma gondii antibody

Imunofluoresensi juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi antigen spesifik pada sel hidup dalam suspensi (sitometri aliran). Ketika suspensi sel hidup yang diwarnai dimasukkan ke dalam alat fluorescence activated cell sorter (FACS), yang mengukur intensitas fluoresensinya, sel-sel tersebut dipisahkan berdasarkan kecerahan fluoresensinya masing-masing. Teknik ini memungkinkan isolasi populasi sel yang berbeda dengan antigen permukaan yang berbeda (misalnya, limfosit CD4+ dan CD8+).

Dalam IFA, sumber antigen (misalnya, seluruh mikroorganisme Toxoplasma, virus dalam sel

kultur jaringan yang terinfeksi) untuk antibodi spesifik yang sedang diuji ditempelkan pada permukaan slide mikroskop. Serum pasien diencerkan dan ditempatkan pada slide untuk menutupi sumber antigen. Jika antibodi ada dalam serum, antibodi tersebut akan berikatan dengan antigen spesifiknya. Antibodi yang tidak terikat kemudian dihilangkan dengan mencuci slide. Pada fase kedua, antiglobulin manusia (AHG, yang ditujukan secara spesifik terhadap IgM atau IgG) yang dikonjugasikan dengan zat fluoresen yang akan berpendar ketika terkena sinar ultraviolet ditempatkan pada slide. Penanda terkonjugasi untuk antibodi manusia ini akan mengikat antibodi yang sudah terikat pada antigen pada slide dan akan berfungsi sebagai penanda untuk antibodi ketika dilihat di bawah mikroskop fluoresensi.

Masalah utama dalam menginterpretasikan hasil IFA adalah pewarnaan latar belakang. Untuk sebagian besar IFA, laboratorium harus memilih pengenceran skrining karena spesimen yang tidak diencerkan akan menunjukkan pewarnaan latar belakang yang dihasilkan dari pengikatan nonspesifik atau kadar autoantibodi yang beredar yang secara klinis tidak signifikan. Pengenceran skrining memainkan peran penting; semakin encer spesimennya, semakin kurang sensitif tetapi semakin spesifik prosedurnya.

Salah satu contoh perubahan situasi klinis adalah banyak laboratorium telah mengganti

imunofluoresensi tidak langsung, yang dulunya merupakan standar untuk pengujian ANA, dengan EIA. Pengurangan tenaga kerja dan pengalaman teknis disebut-sebut sebagai alasan untuk beralih dari imunofluoresensi tidak langsung. Namun, pertukaran ini mungkin tidak menguntungkan jika pasien memiliki titer antibodi kurang dari 1:160.

F. Immunoblot

Immunoblot (sering disebut Western blot) adalah teknik laboratorium untuk mendeteksi dan mengidentifikasi protein spesifik dalam sampel kompleks (jaringan/sel) menggunakan antibodi. Metode ini melibatkan pemisahan protein berdasarkan ukuran menggunakan elektroforesis gel, pemindahan ke membran, dan deteksi pita protein spesifik melalui ikatan antibodi

Tiga bagian utama dari teknik Western blot adalah pemisahan protein berdasarkan ukuran, transfer ke membran padat, dan pelabelan dengan antibodi spesifik protein.

Western blotting memiliki beberapa aplikasi menarik, seperti:

- a. Biokimia: deteksi modifikasi pasca-translasi pada protein dan analisis produksi protein
- b. Diagnosis medis: deteksi antibodi HIV, penyakit Lyme penyakit, penyakit Creutzfeldt-Jakob, dll.
- c. Menerapkan praktik yang tepat di Olimpiade: digunakan oleh World Anti-Doping Agency (WADA) bertugas mendeteksi doping darah, yaitu teknik ilegal yang bertujuan untuk

meningkatkan massa sel darah merah dan meningkatkan performa.

Prinsip Western blot relatif sederhana – protein pertama-tama dipisahkan berdasarkan ukuran dan kemudian dideteksi menggunakan antibodi spesifik.

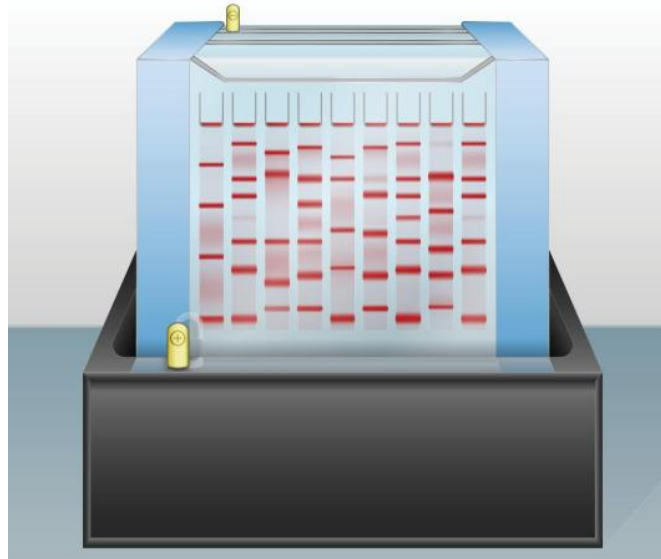
Teknik ini merupakan cara efisien untuk mengkonfirmasi identitas protein dan dapat digunakan bersamaan dengan teknik deteksi lainnya, seperti ELISA atau IHC, untuk membandingkan ekspresi protein di berbagai jaringan atau untuk melihat bagaimana protein merespons berbagai perlakuan. Langkah-langkah utama dalam prosedur Western blot:

- a. Elektroforesis gel
 - b. Proses transfer
 - c. Probing
 - d. Deteksi
1. Elektroforesis Gel

Tahap ini adalah tempat protein dipisahkan berdasarkan ukurannya, atau lebih tepatnya, berat molekulnya. Seringkali, elektroforesis SDS-PAGE (sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel) digunakan untuk Western blotting: Dengan SDS-PAGE, sodium dodecyl sulfate digunakan untuk mendenaturasi protein dan memberikan muatan negatif yang seragam. Protein yang telah diolah kemudian dimasukkan ke dalam sumur gel poliakrilamida bersama dengan penanda tangga yang berisi protein dengan berat molekul yang diketahui untuk perbandingan. Kemudian, ruang

elektroforesis digunakan untuk menerapkan tegangan medan listrik di seluruh gel, menyebabkan protein bergerak menuju anoda bermuatan positif.

Protein dengan berat molekul rendah bergerak lebih cepat daripada protein dengan berat molekul tinggi, sehingga protein terpisah berdasarkan ukuran.



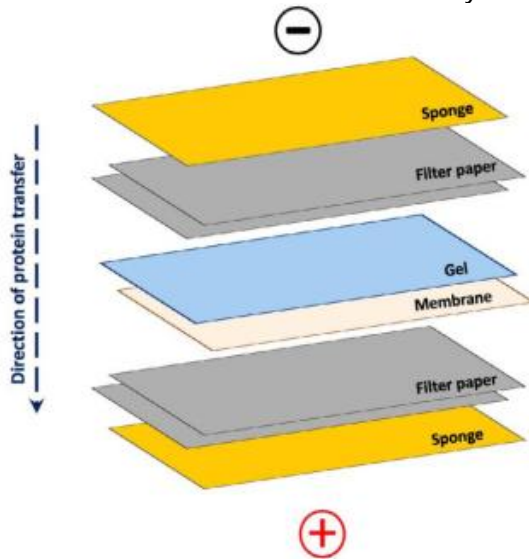
Gambar 2.16 . Ilustrasi Elektroforesis

2. Proses Transfer

Setelah protein dipisahkan, protein tersebut dipindahkan ke membran padat. Proses ini biasanya dilakukan dengan menerapkan medan listrik tegak lurus terhadap permukaan gel, yang menarik protein keluar dari gel dan menuju membran. Proses ini, dikenal sebagai elektro-blotting atau blotting, dapat dilakukan dengan berbagai metode. Meskipun sistem blotting semi-kering dan

kering semakin populer, transfer blotting basah dalam tangki cairan masih merupakan teknik yang paling umum digunakan.

Untuk melakukannya, dibuatlah susunan gel-membran-serat yang terdapat dalam kisi penyangga kemudian ditempatkan kedalam tangki yang berisi larutan penyangga transfer serta katoda dan anoda di kedua sisinya.



Gambar 2.17 Ilustrasi Protein Transfer

Penting agar membran ditempatkan di antara gel dan anoda, sehingga protein bermuatan negatif akan bermigrasi menuju anoda dan dengan demikian ditransfer ke membran. Membran yang paling umum digunakan adalah nitroselulosa atau polivinilidena difluorida (PVDF). Kedua bahan membran ini menawarkan pengikatan protein non-spesifik yang baik, yang difasilitasi oleh

interaksi hidrofobik dan bermuatan antara protein dan bahan membran.

3. Probing

Setelah protein berhasil dipindahkan ke membran padat, protein tersebut harus menjalani prosedur pemblokiran untuk mencegah pengikatan non-spesifik. Hal ini sering dilakukan dengan BSA (bovine serum albumin) atau susu bubuk tanpa lemak dalam TBST (Tris-Buffered Saline Tween-20). Kemudian, protein dideteksi dengan satu atau dua antibodi. Jika deteksi langsung dilakukan, antibodi primer digunakan sendiri; antibodi ini secara spesifik mengikat protein yang diinginkan. Lebih umum, deteksi tidak langsung digunakan.

Dalam hal ini, antibodi primer dan sekunder digunakan. Antibodi sekunder diarahkan terhadap antibodi primer; beberapa antibodi sekunder akan mengikat antibodi primer, sehingga memungkinkan sinyal yang lebih kuat dan memungkinkan deteksi protein pada konsentrasi yang lebih rendah.

Dalam kedua kasus tersebut, setelah antibodi primer ditambahkan dan diinkubasi, membran dicuci dengan TBST untuk mengurangi dan menghilangkan antibodi yang tidak terikat. Demikian pula, jika digunakan, antibodi sekunder kemudian ditambahkan, diinkubasi, dan dicuci.

Agar protein dapat divisualisasikan dengan benar, antibodi primer dan sekunder harus diperoleh dari inang/host yang berbeda.

Jika antibodi primer berasal dari inang kelinci, antibodi sekunder harus "antikelinci" dan berasal dari inang non-kelinci.

4. Deteksi

Umumnya, deteksi protein dilakukan menggunakan antibodi sekunder yang digabungkan dengan enzim. Dua enzim utama yang digunakan untuk deteksi dalam Western blotting adalah horseradish peroxidase (HRP) dan alkaline phosphatase (AP). Substrat kromogenik dan kemiluminesen dapat ditambahkan ke enzim-enzim ini untuk visualisasi. Substrat kromogenik bereaksi dengan enzim untuk menghasilkan endapan berwarna, menghasilkan hasil yang terlihat dan mudah diinterpretasikan dengan mata telanjang. Alternatifnya, substrat chemiluminescent dapat ditambahkan untuk menginduksi luminesensi, yang kemudian dideteksi dengan bantuan film fotografi dan peralatan pencitraan khusus. Fluorophore-conjugated antibody juga dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal fluoresen yang dapat dideteksi menggunakan peralatan khusus.

G. Penutup

Teknik deteksi antibodi dan antigen dalam laboratorium medis sangat krusial untuk diagnosis akurat. BAB 2 membahas komprehensif metode aglutinasi, imunokromatografi, ELISA (direct, indirect, sandwich, kompetitif), imunofluoresensi, dan immunoblot, beserta prinsip kerja, faktor

pengaruh (rasio antigen-antibodi, pH, suhu), serta penanganan hasil palsu. Pemahaman ini memungkinkan pemilihan metode tepat sesuai sensitivitas dan jenis penyakit. Mahasiswa diharapkan menerapkan prosedur dengan kontrol kualitas ketat untuk mendukung diagnostik infeksi, autoimun, dan kondisi klinis lainnya secara optimal.

H. Daftar Pustaka

- Adelman, L. (1999). Laboratory technology: magnetic labelling technology. *Adv Med Lab Admin*, 11, 131.
- Aloisi, RM. (1988). *Principles of immunology and immunodiagnosics*. Philadelphia: Lea & Febiger.
- Baines, W., & Noble, P. (1993). Sensitivity limits of latex agglutination tests. *Am Clin Lab*, 12, 14–18.
- Forbes, BA., Sahm, DF., & Weissfeld, AS. (2007). *Bailey and Scott's diagnostic microbiology* (ed 12). St Louis: Mosby.
- Hyde, A. (2006). Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA): an overview. Diakses dari <http://laboratorian.advanceweb.com/Article/Enzyme-Linked-immunosorbentAssay-ELISA-An-Overview.aspx>
- Jandreski, MA. (1998). Chemiluminescence technology in immunoassays. *Lab Med*, 29(9), 555.
- Kaplan, LA., Pesce, AJ., & Kazmierczak, SC. (2010). *Clinical chemistry: theory, analysis, correlation* (ed 5). St Louis: Mosby.

- Lehman, CA. (1988). Saunders manual of clinical laboratory science. Philadelphia: WB Saunders.
- Mahon, CR., Lehman, DC., & Manuselis, G. (2011). Textbook of diagnostic microbiology (ed 4). St Louis: Mosby.
- Mark, HFL. (1994). Fluorescent in situ hybridization as an adjunct to conventional cytogenetics. *Ann Clin Lab Sci*, 24, 153.
- McDowell, J. (2005). Beyond ANA testing. *Clin Lab News*, October, 25(1).
- McPherson, RA., & Pincus, MR. (2012). Henry's clinical diagnosis and management by laboratory methods (ed 22). Philadelphia: Saunders.
- Sainato, D. (2000). The coming revolution in assay technologies. *Clin Lab News*, 20, 26.
- Turgeon, ML. (1998). Fundamentals of immunohematology (ed 2). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Turgeon, ML. (2014). Immunology & serology in laboratory medicine (ed 5).
- Van Den Berg, F. (1996). Applications of a signal amplification technique for light microscopy. *Clin Lab News*, 15, 8.
- Wang, Z., Hu, J., Jin, Y., Yao, X., & Li, J. (2006). In situ amplified chemiluminescent detection of DNA and immunoassay of IgG using special-shaped gold nanoparticles as label. *Clin Chem*, 52, 1958.

BAB 3

IMUNOSEROLOGI DALAM DIAGNOSIS PENYAKIT INFEKSI

Oleh. Ifandari

A. Pendahuluan

Penyakit infeksi masih menjadi salah satu penyebab utama morbiditas dan mortalitas di dunia, terutama di negara berkembang. Beberapa penyakit infeksi seperti Tuberkulosis, HIV/AIDS, Hepatitis B dan C, malaria, dan penyakit lain akibat resistensi antimikroba tetap menjadi penyebab utama kematian di dunia. Data global menunjukkan bahwa penyakit menular seperti tuberkulosis (TB) masih menjadi 10 penyebab kematian terbesar di dunia, sedangkan Hepatitis B dan C pada tahun 2022 tercatat mencapai 1,3 juta kematian. Sedangkan kematian akibat penyakit malaria mencapai lebih dari 600.000 pada tahun 2020. Begitu pula dengan penyakit HIV/AIDS masih merupakan focus pengendalian utama secara global

Pengendalian kematian akibat penyakit infeksi juga ditentukan oleh ketepatan dalam proses diagnosis. Diagnosis yang cepat dan akurat merupakan komponen penting dalam pengendalian penyakit infeksi karena memungkinkan pemberian terapi yang tepat waktu serta mencegah penyebaran penyakit di masyarakat. Kemampuan untuk mengidentifikasi patogen secara dini sangat

menentukan keberhasilan penatalaksanaan pasien, karena terapi yang diberikan pada tahap awal infeksi terbukti dapat menurunkan risiko komplikasi, progresivitas penyakit, dan mortalitas (Bramer et al 2023).

Pemeriksaan berbasis antigen dan antibodi merupakan salah satu pendekatan penting dalam diagnosis penyakit infeksi, dikarenakan mampu mendeteksi keberadaan patogen maupun respons imun tubuh terhadap infeksi tersebut. Pemeriksaan imunoserologi memungkinkan deteksi antibodi maupun antigen dalam sampel biologis, seperti serum atau plasma. Kombinasi pemeriksaan antigen dan antibodi dapat meningkatkan sensitivitas dan spesifisitas diagnosis karena memungkinkan identifikasi infeksi pada berbagai tahap perjalanan penyakit. Beberapa teknik imunoserologi yang umum digunakan antara lain enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA), rapid immunochromatographic test (ICT), aglutinasi, serta metode berbasis kemiluminesensi. Metode-metode tersebut telah diterapkan secara luas dalam diagnosis berbagai penyakit infeksi seperti HIV, hepatitis virus, sifilis, dengue, dan toksoplasmosis (Kresno, 2010; Abbas, Lichtman, & Pillai, 2021).

Berbagai metode imunoserologi telah dikembangkan dan masing-masing metode memiliki tingkat sensitivitas dan spesifisitas yang berbeda. Perbedaan ini dipengaruhi oleh prinsip reaksi imunologis yang digunakan, jenis marker yang dideteksi, serta teknologi deteksi yang diterapkan dalam setiap metode. Teknik

imunoserologi yang umum digunakan dalam diagnostik laboratorium antara lain ELISA, uji aglutinasi, imunofluoresensi, radioimmunoassay, serta metode berbasis kemiluminesensi dan rapid immunochromatographic test. Pemilihan metode imunoserologi dalam diagnosis penyakit infeksi perlu mempertimbangkan tujuan pemeriksaan, tahap infeksi, serta ketersediaan fasilitas laboratorium. Perkembangan teknologi pemeriksaan imunoserologi bertujuan untuk meningkatkan akurasi diagnosis melalui peningkatan sensitivitas dan spesifisitas metode deteksi antigen maupun antibodi (Tille, 2021).

B. Deteksi dan Konfirmasi pada Infeksi HIV

Penyakit HIV/AIDS merupakan penyakit yang masih menjadi fokus utama penanggulangannya di dunia. Penegakan diagnose penyakit ini sangat bergantung pada pemeriksaan imunoserologi, dikarenakan manifestasi klinis pada fase awal sering tidak spesifik atau bahkan asimtomatik. Secara patofisiologis, HIV menyerang limfosit T CD4⁺ dan memicu respons imun humoral berupa pembentukan antibodi spesifik terhadap antigen virus, yang kemudian menjadi dasar deteksi laboratorium. Oleh karena itu, metode imunoserologi seperti uji antibodi (ELISA dan *rapid test*) serta deteksi antigen p24 digunakan sebagai pendekatan utama dalam diagnosis, baik untuk skrining maupun konfirmasi infeksi. Jenis pemeriksaan ini direkomendasikan oleh organisasi kesehatan dunia yang menegaskan bahwa

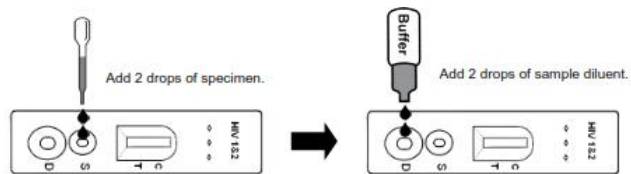
algoritma diagnosis HIV modern berbasis pada kombinasi uji serologis dengan sensitivitas dan spesifisitas tinggi (WHO, 2021; CDC, 2022).

1. Tes Antibodi (Serologi HIV)

Tes antibodi HIV meliputi metode *rapid test* dan ELISA. Metode ini mendeteksi antibodi terhadap HIV (IgM/IgG) yang diproduksi oleh sistem imun setelah infeksi. Metode pemeriksaan *rapid test antibody* umum digunakan untuk skrining awal, karena relatif murah dan mudah. *Rapid test* HIV umumnya bekerja dengan prinsip imunokromatografi dengan mendeteksi antibodi terhadap virus HIV (IgM dan IgG) dalam sampel darah, serum, plasma, atau cairan oral melalui reaksi antigen-antibodi yang menghasilkan garis berwarna sebagai indikator hasil positif. Metode ini termasuk dalam kategori *point-of-care testing* karena dapat dilakukan tanpa peralatan laboratorium yang kompleks dan memberikan hasil dalam waktu relatif singkat, yaitu sekitar 10–30 menit (CDC, 2025).

Secara umum, *rapid test* HIV memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi, bahkan dapat mencapai lebih dari 98–99% tergantung jenis dan kondisi penggunaan, sehingga efektif digunakan dalam program skrining massal dan surveilans epidemiologi (Lu et al., 2024). Meskipun demikian, pemeriksaan ini memiliki keterbatasan, terutama pada fase awal infeksi atau sering disebut dengan "*window period*", dimana antibodi belum terbentuk dalam jumlah

yang cukup untuk terdeteksi, sehingga dapat menghasilkan hasil negatif palsu. Oleh karena itu, hasil reaktif dari *rapid test* HIV tetap memerlukan konfirmasi dengan metode diagnostik lain yang lebih spesifik, seperti ELISA generasi lanjut atau uji molekuler (nucleic acid test) (CDC, 2014).



Gambar 3.1 Rapid Test Antibodi HIV (Sumber : <https://www.jalmedical.com>)

Pemeriksaan antibodi HIV dengan metode ELISA merupakan metode pemeriksaan yang paling umum digunakan dalam diagnosis infeksi HIV karena memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi. ELISA bekerja berdasarkan prinsip reaksi antigen–antibodi, dimana antigen HIV yang dilapiskan pada permukaan padat akan berikatan dengan antibodi spesifik dalam sampel pasien, kemudian proses deteksi melalui reaksi enzimatik yang menghasilkan perubahan warna sebagai indikator positif. Metode ini banyak digunakan sebagai tes skrining awal dalam praktik klinis dan layanan kesehatan masyarakat (NIH, 2023; Aydin et al., 2025).

Metode ELISA telah mengalami perkembangan, ELISA telah mengalami

perubahan generasi teknologi, mulai dari deteksi antibodi IgG pada awal hingga kemampuan mendeteksi IgM. Pada perkembangan selanjutnya ELISA telah mendeteksi antibodi lebih awal, sehingga dapat memperpendek masa *window period* dan meningkatkan akurasi diagnosis. Selain itu, metode ini juga dikenal sebagai enzyme immunoassay (EIA) dan telah lama menjadi standar utama dalam diagnosis HIV pada pasien dewasa, terutama karena kemampuannya dalam mendeteksi infeksi secara luas dan efisien.

Metode ELISA memiliki beberapa keterbatasan, antara lain memerlukan fasilitas laboratorium, peralatan khusus, serta tenaga terlatih, sehingga kurang praktis untuk digunakan di daerah dengan sumber daya terbatas. Selain itu, ELISA juga dapat menghasilkan hasil positif palsu atau *negative* palsu, terutama akibat reaksi atau pemeriksaan pada fase awal infeksi ketika antibodi belum terbentuk dalam jumlah yang cukup (*window period*). Oleh karena itu, hasil pemeriksaan ELISA, khususnya yang reaktif, umumnya memerlukan konfirmasi dengan metode lain seperti Western blot atau uji lanjutan lain untuk memastikan diagnosis yang akurat (CDC, 2014; WHO,2023).

2. Tes Antigen p24.

Tes antibodi HIV tetap merupakan dasar utama dalam diagnosis karena mendeteksi respons imun tubuh terhadap infeksi terlepas

dari keterbatasan dalam pendeteksian dalam masa *window period*, Antigen p24 merupakan protein kapsid inti HIV yang muncul dalam sirkulasi darah pada fase awal infeksi, bahkan sebelum terbentuknya antibody. Protein ini memiliki nilai penting sebagai biomarker virologis untuk diagnosis dini. Deteksi p24 dipandang sebagai alternatif untuk memperpendek *window period* dan meningkatkan deteksi infeksi akut (Zhao et al., 2013; Gray, 2018).

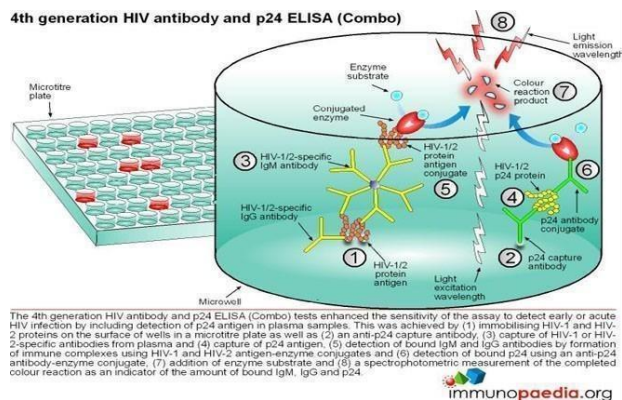
Deteksi antigen p24 memang memiliki peran sangat penting, akan tetapi memiliki tantangan dalam proses pemeriksaanya dikarenakan konsentrasi antigen yang sangat rendah di dalam darah. Hal ini dapat terjadi karena kompleks imun dapat "menyembunyikan" antigen sehingga sulit dideteksi oleh metode konvensional. Oleh karena itu, dikembangkan berbagai teknik seperti immune complex dissociation dikembangkan untuk meningkatkan sensitivitas deteksi. Jumlah antigen p24 dapat terdeteksi lebih awal akibat lonjakan replikasi virus pada fase akut. Deteksi p24 dinilai sangat bermanfaat pada bayi karena antibody maternal dapat mengganggu interpretasi tes antibody, sehingga biomarker antigen menjadi lebih relevan. Metode yang digunakan dalam mendeteksi p24 secara komersial antara lain metode ELISA, CLIA, dan test kombinasi antara antibody dan antigen p24

dengan imunokromatografi (Gray,2018; Spach, 2023)

Pendeteksian p24 dengan metode ELISA sandwich dimana antigen diikat oleh dua antibodi spesifik yang diikat pada epitope yang berbeda. Metode ELISA memiliki memiliki batas deteksi sekitar pg–ng/mL dan sensitivitas dapat ditingkatkan dengan modifikasi seperti: fluorescent ELISA atau nanopartikel. Adapun kelemahan dari metode ini antara lain: sensitivitas menurun saat p24 terikat kompleks imun, kurang sensitif dibandingkan metode molekuler (PCR) dan dapat menghasilkan negative palsu pada fase lanjut (Fan et al., 2015).

Pendeteksian p24 dengan CLIA merupakan pengembangan dari immunoassay yang menggunakan reaksi kimia penghasil cahaya (chemiluminescence) sebagai sinyal deteksi. Prinsip pemeriksaan dengan metode ini adalah ikatan spesifik antigen–antibody dengan mendeteksi emisi cahaya yang diukur oleh luminometer. Metode CLIA banyak digunakan dalam tes HIV generasi ke-4 (Ag/Ab combo) karena sensitivitasnya yang sangat tinggi. Kelebihan metode pemeriksaan ini adalah: lebih sensitif dibanding ELISA konvensional, mampu mendeteksi p24 dalam konsentrasi sangat rendah, spesifisitas tinggi, otomatisasi tinggi dan performa diagnostic yang unggul (Zhao et al.,2013).

Tes kombinasi antigen antibody p24 merupakan metode yang mendeteksi sekaligus antigen p24 dan antibodi HIV. Tes ini dapat mengidentifikasi infeksi lebih cepat (sekitar 2–4 minggu setelah paparan) dan banyak direkomendasikan sebagai standar skrining modern. Jenis pemeriksaan ini sering disebut tes cepat HIV generasi ke-4. Kinerja dan nilai diagnostik tes cepat HIV ini dirancang untuk mendeteksi antigen p24 dan antibodi HIV secara simultan, dengan fokus utama pada kemampuan deteksi infeksi HIV fase primer (acute infection). Adapun kelebihan dari metode ini adalah: waktu deteksi lebih awal, sensitivitas tinggi, spesifisitas baik dan dapat digunakan untuk screening massal. Kekurangan dari metode ini adalah: masih terdapat *window periode*, antigen yang terdeteksi jumlahnya tidak stabil, tidak mampu membedakan HIV tipe 1 dan HIV tipe 2 dan memerlukan tes konfirmasi (Saville. et al.,2001; WHO, 2021)



Gambar 3.2 Gambar Elisa Kombinasi Antigen p24 dan Antibodi (Sumber : <https://www.immunopaedia.org.za/>)

3. Pemeriksaan NAT

Pemeriksaan HIV dengan metode Nucleic Acid Test (NAT) merupakan teknik diagnostik molekuler yang mendeteksi langsung materi genetik virus, yaitu RNA atau DNA HIV dalam sampel darah pasien. Metode ini memungkinkan identifikasi infeksi pada tahap paling awal sebelum terbentuknya antibodi. NAT umumnya menggunakan teknologi berbasis polymerase chain reaction (PCR), baik dalam bentuk deteksi RNA (RT-PCR) maupun DNA proviral, yang memiliki sensitivitas sangat tinggi dalam mendeteksi keberadaan virus. Metode ini mampu mendeteksi HIV lebih awal dibandingkan tes antibodi maupun kombinasi antigen–antibodi, sehingga sangat penting dalam diagnosis infeksi akut, terutama pada individu dengan risiko tinggi atau hasil tes sebelumnya yang tidak pasti (CDC, 2025). Selain itu, NAT juga dianggap sebagai gold standard dalam deteksi infeksi HIV akut karena mampu mengidentifikasi virus secara langsung tanpa bergantung pada respons imun tubuh yang memerlukan waktu untuk terbentuk (Adedokun, et al. 2024). Dalam praktik klinis, NAT tidak hanya digunakan untuk diagnosis dini tetapi juga untuk pemantauan terapi melalui pengukuran viral load, serta untuk skrining keamanan darah donor dan diagnosis HIV pada bayi yang lahir dari ibu terinfeksi (Spach, 2023).

Metode NAT mampu mengidentifikasi keberadaan virus secara langsung dalam

sirkulasi darah, sehingga memungkinkan deteksi infeksi pada fase paling awal kurang lebih 5–12 hari setelah paparan. Keunggulan utama metode ini adalah sensitivitas yang sangat tinggi dan kemampuannya mendeteksi infeksi selama *window period*, ketika antibodi belum terbentuk dan antigen mungkin masih rendah. Selain untuk diagnosis dini, NAT juga digunakan secara luas untuk mengukur viral load, yang berperan penting dalam pemantauan progresivitas penyakit dan evaluasi keberhasilan terapi antiretroviral. Namun demikian, penggunaan NAT memiliki keterbatasan, antara lain biaya yang relatif tinggi, kebutuhan peralatan laboratorium canggih, serta tenaga ahli yang terlatih, sehingga penggunaannya umumnya terbatas pada kasus-kasus tertentu dan tidak digunakan sebagai skrining rutin. Oleh karena itu, NAT biasanya digunakan sebagai pemeriksaan tambahan atau konfirmasi dalam algoritma diagnosis HIV, terutama pada fase infeksi dini atau ketika hasil pemeriksaan serologis tidak konklusif (WHO, 2021; Ding et al. 2025)

Teknik imunoserologi memainkan peran penting dalam program skrining darah donor dan pencegahan transmisi HIV/AIDS karena metode ini memungkinkan deteksi antibodi dan/atau antigen HIV secara sensitif dan spesifik pada calon donor sebelum darah ditransfusikan. Melalui penggunaan uji serologis seperti ELISA atau tes kombinasi antigen–

antibodi, unit darah yang berpotensi mengandung virus dapat diidentifikasi dan dieliminasi, sehingga secara signifikan menurunkan risiko penularan melalui transfusi. Pendekatan ini menjadi komponen utama dalam sistem keamanan darah modern, sebagaimana direkomendasikan oleh WHO, yang menekankan bahwa seluruh darah donor harus melalui skrining serologis untuk HIV guna menjamin keselamatan penerima. Dengan demikian, penerapan teknik imunoserologi tidak hanya berfungsi sebagai alat diagnostik, tetapi juga sebagai strategi preventif yang esensial dalam pengendalian penyebaran HIV di masyarakat.

C. Deteksi Imunoserologi pada Hepatitis B

Hepatitis B merupakan infeksi virus yang menyerang hati dan disebabkan oleh Hepatitis B virus (HBV), dengan spektrum penyakit yang luas mulai dari infeksi akut hingga kronis yang dapat berkembang menjadi sirosis atau karsinoma hepatoseluler. Diagnosis Hepatitis B sangat bergantung pada identifikasi penanda serologis karena manifestasi klinisnya sering tidak spesifik, terutama pada fase awal infeksi. Pemeriksaan imunoserologi digunakan untuk mendeteksi berbagai marker seperti hepatitis B surface antigen (HBsAg), antibodi terhadap antigen permukaan (anti-HBs), antibodi terhadap antigen inti (anti-HBc IgM dan IgG), serta hepatitis B e antigen (HBeAg) dan antibodinya (anti-HBe). Kombinasi marker ini

memungkinkan penentuan status infeksi, apakah akut, kronis, dalam fase replikasi aktif, atau telah mengalami resolusi dengan kekebalan. Selain itu, penanda serologis juga berperan dalam skrining populasi, evaluasi respons terhadap vaksinasi, serta pemantauan perjalanan penyakit. Oleh karena itu, pendekatan berbasis serologi menjadi landasan utama dalam diagnosis dan manajemen Hepatitis B, sebagaimana direkomendasikan dalam berbagai literatur dan pedoman klinis internasional.

1. Antigen permukaan hepatitis B (HBsAg)

Antigen permukaan hepatitis B (hepatitis B surface antigen atau HBsAg) merupakan penanda serologis utama yang digunakan untuk mengidentifikasi adanya infeksi aktif virus hepatitis B (HBV), baik pada fase akut maupun kronis. HBsAg adalah protein yang terdapat pada selubung luar virus dan dilepaskan ke dalam sirkulasi darah selama replikasi virus berlangsung, sehingga dapat dideteksi sejak fase awal infeksi, bahkan sebelum munculnya gejala klinis. Keberadaan HBsAg yang persisten selama lebih dari enam bulan umumnya menunjukkan infeksi kronis, sedangkan hilangnya HBsAg diikuti dengan munculnya antibodi anti-HBs menandakan pemulihan dan terbentuknya kekebalan. Oleh karena itu, pemeriksaan HBsAg tidak hanya penting untuk diagnosis awal, tetapi juga untuk skrining populasi, evaluasi status infeksi, serta pemantauan perjalanan penyakit. Karena sensitivitas dan spesifisitasnya yang tinggi,

HBsAg direkomendasikan sebagai indikator utama untuk menegakkan diagnosis infeksi hepatitis B aktif.

Pada pasien dengan infeksi akut, HBsAg merupakan marker pertama yang muncul dalam darah, biasanya sekitar 1–10 minggu setelah paparan virus. Keberadaan HBsAg pada fase ini menunjukkan bahwa virus sedang aktif menginfeksi hepatosit. Selain HBsAg, biasanya juga ditemukan IgM anti-HBc sebagai penanda infeksi baru. Keberadaan HBsAg pada infeksi akut bersifat sementara. Pada sebagian besar pasien yang mengalami resolusi infeksi, HBsAg akan menghilang dalam waktu <6 bulan, kemudian diikuti munculnya anti-HBs yang menandakan terbentuknya kekebalan. Namun, terdapat periode yang disebut *window period*, dimana HBsAg sudah tidak terdeteksi tetapi anti-HBs belum terbentuk, sehingga diagnosis bergantung pada IgM anti-HBc.

Metode pemeriksaan HBsAg yang paling banyak digunakan adalah ELISA, yang bekerja dengan mengikat HBsAg pada antibodi terlapis di permukaan mikroplate, kemudian menghasilkan reaksi enzimatik yang dapat diukur secara kolorimetri. Metode ini dikenal memiliki sensitivitas dan spesifisitas tinggi, sehingga sering dianggap sebagai standar emas untuk skrining laboratorium, meskipun membutuhkan waktu pemeriksaan lebih lama dan fasilitas laboratorium yang memadai (Wu et al., 2019).

Metode lain yang banyak digunakan adalah rapid diagnostic test berbasis imunokromatografi (ICT). Metode ini menggunakan prinsip aliran lateral di mana sampel darah akan bermigrasi melalui membran yang mengandung antibodi spesifik terhadap HBsAg. Keunggulan utama metode ini adalah kemudahan penggunaan, waktu pemeriksaan yang cepat, serta tidak memerlukan peralatan khusus, sehingga sangat cocok untuk skrining di daerah dengan sumber daya terbatas. Namun demikian, sensitivitas metode ini umumnya lebih rendah dibandingkan ELISA, sehingga terdapat kemungkinan hasil negatif palsu, terutama pada kadar antigen yang rendah (Amini et al., 2017; Al-Matary et al., 2022).

Berdasarkan perkembangan teknologi, pemeriksaan HBsAg juga hadir dengan metode (CLIA) atau (ECLIA) yang menggunakan prinsip deteksi cahaya hasil reaksi kimia antara antigen dan antibodi. Metode ini menawarkan sensitivitas dan spesifisitas yang sangat tinggi serta sistem otomatisasi yang baik, sehingga mampu memberikan hasil yang lebih konsisten dan akurat dibandingkan metode konvensional. Namun, keterbatasannya terletak pada biaya yang relatif tinggi dan kebutuhan alat yang canggih, sehingga penggunaannya lebih banyak ditemukan di laboratorium rujukan atau rumah sakit besar (Wu et al., 2019).

2. Antibodi terhadap antigen inti (anti-HBc) dan antibodi terhadap antigen permukaan (anti-HBs)

Anti-HBc dan AntiHBs merupakan penanda serologis penting dalam evaluasi infeksi Hepatitis B karena keduanya memberikan informasi mengenai fase infeksi maupun status kekebalan individu. Anti-HBc, khususnya IgM, muncul pada fase akut infeksi dan menjadi indikator infeksi baru, sedangkan anti-HBc IgG menetap seumur hidup sebagai penanda adanya paparan sebelumnya terhadap virus hepatitis B. Di sisi lain, anti-HBs menunjukkan adanya kekebalan terhadap HBV, baik akibat infeksi yang telah sembuh maupun hasil imunisasi melalui vaksinasi. Kombinasi hasil kedua marker ini memungkinkan interpretasi yang lebih komprehensif, misalnya keberadaan anti-HBc tanpa anti-HBs dapat mengindikasikan infeksi sebelumnya atau fase *window period*, sementara anti-HBs tanpa anti-HBc umumnya menunjukkan kekebalan akibat vaksinasi. Oleh karena itu, pemeriksaan anti-HBc dan anti-HBs secara bersamaan sangat penting dalam menentukan status infeksi, fase penyakit, serta respons imun individu terhadap virus hepatitis B.

Pemeriksaan anti HBc dan anti HBs secara umum dilakukan dengan teknik imunoserologi berbasis interaksi antigen-antibodi, terutama menggunakan metode ELISA, CLIA/ECLIA, serta ICT. ELISA banyak digunakan

dalam praktik klinis karena memiliki sensitivitas dan spesifisitas tinggi serta dapat membedakan kelas antibodi seperti IgM dan IgG secara akurat, sehingga sangat berguna dalam menentukan fase infeksi. Namun, metode ini relatif memerlukan waktu lebih lama, prosedur yang lebih kompleks, serta membutuhkan fasilitas laboratorium dan tenaga terlatih (World Journal of Gastroenterology, 2015; Amini et al., 2017).

Metode CLIA sangat efektif digunakan untuk pemeriksaan anti-HBc IgM dan IgG serta anti-HBs dalam laboratorium modern, terutama untuk skrining dalam jumlah besar dengan hasil yang cepat dan konsisten. Namun, keterbatasan utama metode ini adalah biaya yang lebih mahal serta kebutuhan akan instrumen khusus yang tidak selalu tersedia di fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas (Wu et al., 2019).

Sementara itu, metode *rapid test* berbasis imunokromatografi (ICT) juga digunakan untuk mendeteksi anti-HBc dan anti-HBs, terutama dalam situasi skrining cepat atau di lapangan. Prinsipnya adalah migrasi sampel melalui membran yang mengandung antigen atau antibodi spesifik, dengan hasil berupa garis visual dalam waktu singkat. Kelebihan metode ini adalah kemudahan penggunaan, waktu pemeriksaan yang cepat, serta tidak memerlukan peralatan laboratorium yang kompleks. Namun, dibandingkan ELISA dan CLIA, metode ini memiliki sensitivitas yang lebih rendah dan rentan terhadap hasil negatif palsu,

khususnya pada kadar antibodi yang rendah, sehingga hasilnya sering memerlukan konfirmasi dengan metode yang lebih sensitif (Al-Matary et al., 2022; Poiteau et al., 2017).

3. Pemeriksaan HBeAg dan Viral Load

Pemeriksaan HBeAg (hepatitis B e antigen) merupakan bagian penting dalam evaluasi infeksi Hepatitis B karena keberadaannya mencerminkan aktivitas replikasi virus dan tingkat infektivitas pasien. Secara umum, metode yang digunakan untuk mendeteksi HBeAg dalam praktik klinis adalah ELISA, CLIA/ECLIA, serta *rapid test* ICT.

Pemeriksaan HBeAg metode ELISA banyak digunakan karena memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi serta mampu memberikan hasil yang cukup akurat untuk menentukan status replikasi virus. Namun, kekurangannya adalah waktu pemeriksaan yang relatif lebih lama, prosedur yang membutuhkan beberapa tahap inkubasi, serta ketergantungan pada fasilitas laboratorium dan operator terlatih (Amini et al., 2017). Metode lain yang lebih modern untuk pemeriksaan ini adalah CLIA atau ECLIA, metode memiliki kelebihan berupa sensitivitas dan spesifisitas yang sangat tinggi, kemampuan otomatisasi yang baik, serta waktu pemeriksaan yang lebih cepat dibandingkan ELISA. Oleh karena itu, CLIA banyak digunakan di laboratorium rujukan untuk meningkatkan akurasi diagnosis dan konsistensi hasil. Meskipun demikian, metode ini memiliki

keterbatasan berupa biaya yang lebih tinggi dan kebutuhan alat khusus, sehingga tidak selalu tersedia di fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas (Wu et al., 2019; Hagos et al., 2026). Selain itu, *rapid test* (ICT) HBeAg juga dapat digunakan terutama dalam situasi skrining cepat. Keunggulan utamanya adalah kemudahan penggunaan, kecepatan hasil, dan tidak memerlukan peralatan khusus. Namun, dibandingkan ELISA dan CLIA, metode ini memiliki sensitivitas yang lebih rendah sehingga berisiko memberikan hasil negatif palsu, terutama pada kadar antigen yang rendah, sehingga hasilnya sebaiknya dikonfirmasi dengan metode yang lebih sensitif (Al-Matary et al., 2022; Poiteau et al., 2017).

Pemeriksaan viral load hepatitis B adalah pengukuran jumlah DNA virus dalam darah yang mencerminkan tingkat replikasi Hepatitis B secara langsung. Parameter ini dinyatakan dalam satuan IU/mL atau copies/mL dan memiliki peran penting dalam menentukan aktivitas penyakit, indikasi terapi antivirus, serta monitoring respons pengobatan. Berbeda dengan pemeriksaan serologi (seperti HBsAg atau HBeAg), viral load menilai keberadaan materi genetik virus sehingga lebih sensitif dalam mendeteksi infeksi aktif, termasuk pada fase dengan antigen yang tidak terdeteksi.

Metode utama yang digunakan untuk pemeriksaan viral load adalah polymerase chain reaction (PCR), khususnya real-time PCR (qPCR).

Prinsip metode ini adalah amplifikasi DNA virus secara eksponensial menggunakan enzim DNA polimerase, kemudian jumlah DNA yang terbentuk diukur secara real-time melalui sinyal fluoresensi. Selain PCR, terdapat metode lain seperti transcription-mediated amplification (TMA) dan branched DNA (bDNA) assay, meskipun penggunaannya lebih terbatas. Real-time PCR menjadi standar karena memiliki sensitivitas yang sangat tinggi dan mampu mendeteksi jumlah virus dalam kadar sangat rendah, bahkan sebelum marker serologi muncul (Poiteau et al., 2017).

Kelebihan utama pemeriksaan viral load dengan PCR adalah sensitivitas dan spesifisitas yang sangat tinggi, kemampuan deteksi dini infeksi, serta akurasi dalam memantau perubahan jumlah virus selama terapi. Metode ini juga bersifat kuantitatif sehingga memungkinkan evaluasi progresi penyakit dan efektivitas pengobatan secara objektif. Namun demikian, terdapat beberapa kekurangan, antara lain biaya yang tinggi, kebutuhan peralatan laboratorium molekuler yang canggih, serta risiko kontaminasi yang dapat memengaruhi hasil jika prosedur tidak dilakukan dengan ketat. Selain itu, hasil viral load harus diinterpretasikan bersama data klinis dan serologi, karena nilai yang rendah tidak selalu berarti tidak adanya infeksi, terutama pada fase laten atau infeksi kronis inaktif (Amini et al., 2017; WHO, 2017).

Kombinasi beberapa marker serologis merupakan pendekatan utama dalam menilai tahap penyakit dan menentukan prognosis pada infeksi Hepatitis B, karena masing-masing penanda memberikan informasi yang saling melengkapi mengenai dinamika infeksi virus. Dengan menginterpretasikan kombinasi marker tersebut secara terpadu, klinisi dapat mengklasifikasikan fase infeksi menjadi akut, kronis aktif, fase inaktif, atau resolusi, serta menilai risiko progresi penyakit menuju komplikasi seperti sirosis atau karsinoma hepatoseluler. Selain itu, profil serologis juga berperan dalam menentukan kebutuhan terapi antivirus dan memantau respons pengobatan.

D. Deteksi Imunoserologi pada Hepatitis C

Pemeriksaan pada Hepatitis C mencakup serangkaian uji serologi, molekuler, dan penilaian fungsi hati yang bertujuan untuk menegakkan diagnosis, menentukan aktivitas infeksi, serta menilai derajat kerusakan hati. Pemeriksaan awal yang paling umum dilakukan adalah deteksi antibodi anti-HCV menggunakan metode imunoserologi seperti ELISA atau CLIA, yang berfungsi sebagai skrining untuk mengidentifikasi individu yang pernah terpapar virus. Namun, karena antibodi ini tidak dapat membedakan infeksi aktif dan infeksi yang telah sembuh, maka hasil positif harus dikonfirmasi dengan pemeriksaan HCV RNA menggunakan teknik PCR. Pemeriksaan RNA ini merupakan standar emas untuk menentukan

adanya infeksi aktif karena mendeteksi materi genetik virus secara langsung serta dapat digunakan untuk mengukur viral load (WHO, 2017; Tang et al., 2017).

Pemeriksaan genotipe HCV juga sering dilakukan karena berperan dalam menentukan pilihan terapi antivirus dan durasi pengobatan. Di samping pemeriksaan virologi, evaluasi fungsi hati menjadi bagian penting dalam penatalaksanaan hepatitis C, yang meliputi pengukuran enzim hati seperti ALT (alanine aminotransferase) dan AST (aspartate aminotransferase), serta parameter lain seperti bilirubin, albumin, dan waktu protrombin untuk menilai fungsi sintesis hati. Pemeriksaan penunjang lain seperti elastografi (FibroScan) atau biopsi hati dapat digunakan untuk menilai derajat fibrosis atau sirosis, yang penting dalam menentukan prognosis penyakit (EASL, 2020).

1. Deteksi Antibodi anti-HCV

Antibodi anti-HCV pada pemeriksaan Hepatitis C merupakan indikator bahwa individu pernah terpapar virus hepatitis C, karena terbentuk sebagai respons imun humoral terhadap antigen virus; namun demikian, keberadaan antibodi ini tidak selalu menunjukkan adanya infeksi aktif. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan bahwa virus telah dieliminasi secara spontan oleh sistem imun atau melalui terapi antivirus, sehingga antibodi tetap terdeteksi meskipun replikasi virus sudah tidak berlangsung (CDC, 2023).

Uji serologis *rapid test* ICT bekerja dengan mendeteksi respons imun humoral berupa antibodi spesifik terhadap HCV dalam serum pasien, yang biasanya muncul beberapa minggu setelah infeksi. yang memungkinkan deteksi anti-HCV secara cepat di tempat pelayanan dengan sumber daya terbatas. Tes ini memberikan hasil dalam waktu singkat tanpa memerlukan peralatan kompleks. Kelebihannya adalah praktis, cepat, dan mudah digunakan, namun sensitivitasnya lebih rendah dibandingkan ELISA dan CLIA, sehingga berisiko menghasilkan negatif palsu terutama pada kadar antibodi yang rendah atau pada fase awal infeksi (WHO, 2017)

Metode yang paling umum digunakan dalam pemeriksaan anti-HCV adalah ELISA. Metode ini memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi, sehingga cocok digunakan sebagai metode skrining standar di laboratorium klinis. Kelebihan metode ini adalah kemampuannya memproses banyak sampel secara bersamaan dan memberikan hasil yang relatif akurat. Namun, kekurangannya meliputi waktu pemeriksaan yang lebih lama, kebutuhan peralatan laboratorium, serta kemungkinan hasil positif palsu pada kondisi tertentu seperti penyakit autoimun atau infeksi lain (WHO, 2017; Tang et al., 2017).

Metode lain yang digunakan selain ELISA adalah metode CLIA/ECLIA digunakan dalam deteksi anti-HCV, terutama di laboratorium

modern. CLIA memiliki keunggulan berupa sensitivitas yang sangat tinggi, waktu pemeriksaan yang lebih cepat, serta tingkat otomatisasi yang baik sehingga mengurangi variasi hasil antar operator. Namun, metode ini memerlukan biaya yang lebih tinggi dan peralatan khusus, sehingga tidak selalu tersedia di semua fasilitas kesehatan (Tang et al., 2017).

2. Deteksi RNA Virus HCV

Pemeriksaan konfirmasi infeksi aktif pada Hepatitis C umumnya dilakukan melalui pemeriksaan RNA virus menggunakan teknik molekuler, seperti PCR, yang mampu mendeteksi materi genetik virus secara langsung dalam darah pasien. Metode ini memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi sehingga dapat memastikan adanya replikasi virus yang sedang berlangsung, berbeda dengan pemeriksaan serologis yang hanya menunjukkan riwayat paparan. Deteksi RNA HCV juga berperan penting dalam menentukan status infeksi kronis, memantau respons terapi, serta mengevaluasi keberhasilan pengobatan.

Metode yang paling umum digunakan adalah *real-time polymerase chain reaction* (RT-PCR), yang bekerja dengan prinsip amplifikasi materi genetik virus setelah terlebih dahulu dilakukan proses *reverse transcription* untuk mengubah RNA virus menjadi DNA komplementer (cDNA). Selanjutnya, cDNA tersebut diamplifikasi secara eksponensial dan dideteksi secara real-time yang ditunjukkan

dengan sinyal fluoresensi yang sebanding dengan jumlah virus dalam sampel. Pemeriksaan ini sangat sensitif dan mampu mendeteksi RNA virus dalam jumlah sangat rendah, sehingga dapat mengidentifikasi infeksi bahkan pada fase awal sebelum antibodi terbentuk atau pada fase *window period* (WHO, 2017; Tang et al., 2017).

Selain RT-PCR, metode lain yang dapat digunakan adalah transcription-mediated amplification (TMA), yang juga memiliki sensitivitas tinggi dan sering digunakan dalam skrining darah donor, serta metode branched DNA (bDNA) yang bersifat kuantitatif tanpa proses amplifikasi target. Meskipun bDNA memiliki risiko kontaminasi yang lebih rendah, sensitivitasnya lebih rendah dibandingkan PCR sehingga penggunaannya lebih terbatas dalam praktik klinis. Pemeriksaan RNA HCV tidak hanya bersifat kualitatif untuk memastikan keberadaan virus, tetapi juga dapat dilakukan secara kuantitatif untuk mengukur viral load, yang penting dalam menentukan respons terapi dan memantau keberhasilan pengobatan antivirus (EASL, 2020).

Pemeriksaan imunoserologi tetap memiliki peran penting dalam program skrining pada populasi berisiko tinggi Hepatitis C, karena metode ini memungkinkan deteksi awal antibodi atau antigen spesifik secara luas, cepat, dan relatif efisien dalam skala populasi. Keunggulan imunoserologi terletak pada

sensitivitas tinggi, kemudahan implementasi, serta biaya yang lebih terjangkau dibandingkan metode molekuler, sehingga sangat sesuai untuk skrining massal. Penggunaan uji imunoserologi sebagai langkah awal dalam strategi deteksi dini pada populasi berisiko, yang kemudian dapat dilanjutkan dengan pemeriksaan konfirmasi untuk memastikan diagnosis dan mendukung upaya pengendalian penularan penyakit.

E. Deteksi Imunoserologi pada Sifilis

Sifilis merupakan penyakit infeksi yang disebabkan oleh bakteri *Treponema pallidum*, di mana penegakan diagnosis laboratoriumnya sangat bergantung pada pemeriksaan serologis karena bakteri ini sulit dikultur secara rutin di laboratorium. Pemeriksaan serologis pada Sifilis umumnya meliputi dua kelompok utama, yaitu tes non-treponemal (seperti VDRL dan RPR) yang digunakan untuk skrining dan pemantauan aktivitas penyakit, serta tes treponemal (seperti TPHA dan FTA-ABS) yang lebih spesifik untuk konfirmasi diagnosis. Pendekatan ini memungkinkan deteksi respons imun terhadap infeksi, baik pada fase awal maupun lanjut, meskipun manifestasi klinis dapat bervariasi dan tidak selalu khas.

1. Tes Non-Treponemal

Tes non-treponemal seperti VDRL (Venereal Disease Research Laboratory) dan RPR (Rapid Plasma Reagin) digunakan sebagai metode skrining awal dalam diagnosis Sifilis.

Metode ini mampu mendeteksi antibodi non-spesifik (reagin) yang terbentuk sebagai respons terhadap kerusakan jaringan akibat infeksi *Treponema pallidum*. Pemeriksaan VDRL (Venereal Disease Research Laboratory) dan RPR (Rapid Plasma Reagin) merupakan uji serologi non-treponemal yang digunakan untuk skrining infeksi Sifilis. Kedua metode ini mendeteksi antibodi terhadap kompleks lipid (kardiolipin–lesitin–kolesterol) yang dilepaskan akibat kerusakan sel inang maupun membran bakteri.

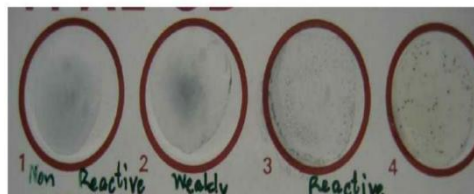
Prinsip dasar pemeriksaan VDRL adalah reaksi flokulasi mikroskopis, dimana serum pasien dicampur dengan antigen kardiolipin dan kemudian diamati di bawah mikroskop untuk melihat terbentuknya agregat (flokulasi). Metode ini cukup sensitif untuk deteksi sifilis pada fase aktif, tetapi memerlukan mikroskop dan keterampilan operator, serta lebih rentan terhadap variasi teknis (CDC, 2021; Larsen et al., 1995).

Sementara itu, metode RPR merupakan modifikasi dari VDRL yang menggunakan prinsip yang sama, namun antigen kardiolipin telah ditambahkan partikel karbon sehingga hasil reaksi dapat diamati secara makroskopis tanpa mikroskop. Hal ini menjadikan RPR lebih praktis, cepat, dan digunakan dalam praktik klinis maupun skrining lapangan.

Pemeriksaan ini memiliki keunggulan berupa prosedur yang relatif sederhana, cepat,

dan biaya yang lebih rendah, sehingga sangat sesuai untuk skrining populasi secara luas. Selain itu, titer antibodi yang dihasilkan juga dapat digunakan untuk menilai aktivitas penyakit dan memantau respons terhadap terapi. Namun, karena sifatnya yang tidak spesifik, hasil reaktif pada tes non-treponemal perlu dikonfirmasi dengan tes treponemal yang lebih spesifik untuk memastikan diagnosis. Namun, baik VDRL maupun RPR memiliki keterbatasan berupa kemungkinan hasil positif palsu pada kondisi tertentu seperti penyakit autoimun, kehamilan, atau infeksi lain, serta sensitivitas yang lebih rendah pada fase sangat awal atau lanjut (laten) dari sifilis. Oleh karena itu, hasil reaktif dari kedua pemeriksaan ini harus dikonfirmasi dengan uji treponemal yang lebih spesifik seperti TPHA atau FTA-ABS (CDC, 2021; WHO, 2016).

Flocculation test (A precipitation reaction)



(1) Non Reactive (2) Weakly Reactive (3,4) Reactive

RPR card test

Uji nontreponemal memiliki peran penting dalam evaluasi respons pengobatan karena dapat mengukur titer antibodi yang berkorelasi dengan aktivitas penyakit, sehingga penurunan titer setelah terapi menunjukkan keberhasilan pengobatan, sedangkan titer yang menetap atau meningkat dapat mengindikasikan kegagalan terapi atau reinfeksi

2. Tes Treponemal

Tes treponemal seperti TPHA (Treponema pallidum hemagglutination assay) dan FTA-ABS (fluorescent treponemal antibody-absorption) digunakan sebagai metode konfirmasi dalam diagnosis Sifilis karena memiliki spesifisitas tinggi terhadap antigen *Treponema pallidum*. Pemeriksaan ini bekerja dengan mendeteksi antibodi spesifik yang secara langsung ditujukan terhadap bakteri penyebab sifilis, sehingga mampu membedakan hasil positif sejati dari kemungkinan reaksi silang yang dapat terjadi pada tes nontreponemal. Meskipun antibodi treponemal dapat tetap terdeteksi seumur hidup meskipun infeksi telah diobati, pemeriksaan ini tetap menjadi standar konfirmasi yang penting dalam praktik klinis. Uji treponemal cenderung tetap reaktif dalam jangka panjang sehingga kurang tepat digunakan untuk pemantauan terapi.

TPHA bekerja berdasarkan prinsip hemaglutinasi pasif, dimana eritrosit yang telah dilapisi antigen *T. pallidum* akan beraglutinasi jika dalam serum pasien terdapat antibodi

spesifik terhadap bakteri tersebut. Hasil pemeriksaan dinilai secara visual berdasarkan pola aglutinasi yang terbentuk. TPHA memiliki kelebihan berupa sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi serta kemudahan interpretasi, sehingga sering digunakan sebagai uji konfirmasi setelah skrining non-treponemal. Namun, kekurangannya adalah antibodi yang terdeteksi dapat bertahan seumur hidup, sehingga tidak dapat membedakan infeksi aktif dengan infeksi lama yang sudah diobati (Larsen et al., 1995; WHO, 2016).

Sementara itu, FTA-ABS merupakan metode imunofluoresensi tidak langsung yang lebih sensitif, terutama pada fase awal infeksi. Pada metode ini, serum pasien terlebih dahulu diserap (absorption) untuk menghilangkan antibodi non-spesifik, kemudian direaksikan dengan antigen *T. pallidum* yang difiksasi pada slide. Jika terdapat antibodi spesifik, maka akan terjadi ikatan yang kemudian dideteksi menggunakan antibodi sekunder berlabel fluoresen dan diamati di bawah mikroskop fluoresensi. FTA-ABS dikenal memiliki sensitivitas sangat tinggi, bahkan pada sifilis primer, sehingga berguna dalam diagnosis dini. Namun, metode ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain memerlukan peralatan khusus mikroskop fluoresensi, interpretasi yang lebih subjektif, serta biaya yang relatif lebih tinggi dibandingkan TPHA (CDC, 2021; Larsen et al., 1995).

Kombinasi pemeriksaan non-treponemal dan treponemal terbukti meningkatkan akurasi diagnosis Sifilis karena kedua metode tersebut memiliki karakteristik yang saling melengkapi dalam mendeteksi infeksi *T. pallidum*. Tes non-treponemal seperti VDRL dan RPR memiliki sensitivitas yang baik untuk skrining awal serta dapat digunakan untuk memantau aktivitas penyakit melalui titer antibodi, namun memiliki keterbatasan spesifisitas sehingga berisiko memberikan hasil positif palsu. Sebaliknya, tes treponemal seperti TPHA dan FTA-ABS memiliki spesifisitas tinggi karena mendeteksi antibodi yang secara langsung ditujukan terhadap antigen bakteri, sehingga lebih akurat untuk konfirmasi diagnosis. Dengan mengombinasikan kedua jenis pemeriksaan ini dalam suatu algoritma diagnostik, dapat dicapai keseimbangan antara sensitivitas dan spesifisitas, sehingga meminimalkan kesalahan diagnosis.

F. Deteksi Imunoserologi pada Toksoplasmosis

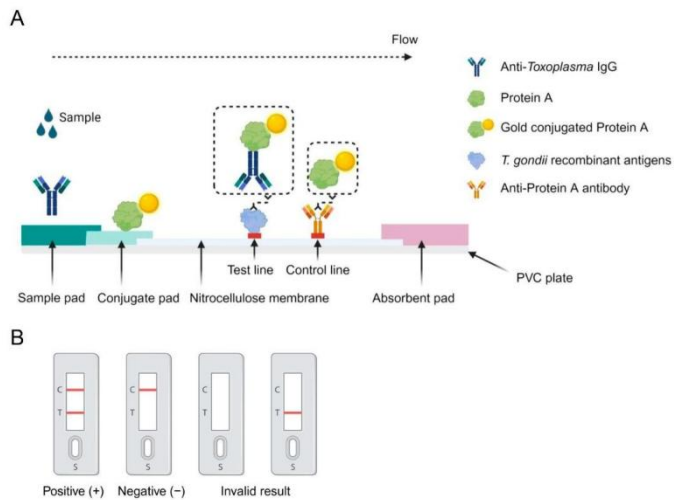
Toksoplasmosis merupakan infeksi parasit yang disebabkan oleh *Toxoplasma gondii* dan memiliki signifikansi klinis yang tinggi, terutama pada ibu hamil dan individu imunokompromais. Infeksi pada ibu hamil dapat menyebabkan transmisi vertikal ke janin yang berisiko menimbulkan abortus, kelainan kongenital, serta gangguan neurologis seperti hidrosefalus dan kalsifikasi intrakranial (Bennett et al., 2020; Garcia &

Bruckner, 2018). Sementara itu, pada individu imunokompromais, seperti penderita HIV/AIDS atau pasien yang menjalani terapi immunosupresif, infeksi ini dapat mengalami reaktivasi dan menyebabkan manifestasi berat seperti ensefalitis toksoplasma yang berpotensi fatal (Murray et al., 2021). Oleh karena itu, toksoplasmosis merupakan infeksi oportunistik yang penting untuk diperhatikan dalam praktik klinis, khususnya pada kelompok berisiko tinggi (CDC, 2023).

Pemeriksaan imunoserologi menunjang diagnosis toksoplasmosis karena mampu mendeteksi respons imun humoral terhadap infeksi *T. gondii*, khususnya melalui identifikasi antibodi imunoglobulin M (IgM) dan imunoglobulin G (IgG). Antibodi IgM biasanya muncul pada fase akut infeksi dan menunjukkan adanya infeksi primer atau baru terjadi, meskipun dalam beberapa kasus dapat bertahan lebih lama sehingga memerlukan interpretasi hati-hati. Sementara itu, antibodi IgG muncul lebih lambat tetapi bertahan seumur hidup dan menandakan adanya paparan atau infeksi masa lalu serta imunitas parsial terhadap parasit tersebut. Kombinasi hasil pemeriksaan IgM dan IgG sangat penting dalam menentukan status infeksi, terutama pada ibu hamil, untuk membedakan antara infeksi akut, kronis, atau reaktivasi, sehingga dapat membantu dalam pengambilan keputusan klinis yang tepat (Garcia & Bruckner, 2018; Murray et al., 2021; Montoya & Liesenfeld, 2004).

Metode yang paling umum digunakan adalah pemeriksaan serologi untuk mendeteksi

antibodi terhadap *Toxoplasma gondii*, yaitu IgM dan IgG anti-*Toxoplasma* menggunakan teknik seperti ELISA atau CLIA. Antibodi IgM biasanya muncul pada fase akut dan menunjukkan infeksi baru, sedangkan IgG menandakan infeksi lama atau imunitas. Namun, interpretasi IgM dapat menjadi sulit karena antibodi ini dapat bertahan lama, sehingga diperlukan pemeriksaan tambahan seperti uji aviditas IgG, yang membantu membedakan infeksi akut (aviditas rendah) dengan infeksi lama (aviditas tinggi) (Montoya & Liesenfeld, 2004; Robert-Gangneux & Dardé, 2012).



Gambar 3.4 Gambar deteksi *Toxoplasmosis* antibody
(Sumber: Wang et al., 2025)

Uji aviditas IgG merupakan metode serologis yang digunakan untuk memperkirakan waktu terjadinya infeksi berdasarkan kekuatan ikatan antara antibodi IgG dan antigen. Dalam respons imun, antibodi IgG yang terbentuk pada fase awal infeksi memiliki aviditas rendah karena belum

mengalami proses pematangan afinitas di pusat germinal limfosit B. Seiring waktu, melalui proses seleksi dan maturasi afinitas, antibodi IgG akan berkembang menjadi beravidity tinggi yang mencerminkan infeksi lama atau paparan yang sudah berlangsung cukup lama. Oleh karena itu, hasil uji aviditas IgG dapat membantu membedakan infeksi primer yang baru terjadi (avidity rendah) dengan infeksi lama atau kronis (avidity tinggi), yang sangat penting terutama pada kasus seperti toksoplasmosis pada kehamilan untuk menentukan risiko transmisi kongenital dan penatalaksanaan klinis yang tepat (Montoya & Liesenfeld, 2004; Murray et al., 2021; Abbas et al., 2021).

Pemeriksaan molekuler dengan PCR juga digunakan untuk mendeteksi DNA *T. gondii* secara langsung, terutama pada cairan amnion, darah, atau cairan serebrospinal. Metode ini sangat sensitif dan spesifik, sehingga penting dalam diagnosis infeksi kongenital maupun pada pasien dengan gangguan imun. PCR juga berguna ketika hasil serologi tidak jelas atau pada kondisi di mana respons antibodi tidak adekuat (seperti pada pasien HIV/AIDS) (Robert-Gangneux & Dardé, 2012).

Diagnosis serologis memiliki peran yang sangat penting dalam pencegahan transmisi kongenital, terutama pada infeksi seperti toksoplasmosis yang dapat ditularkan dari ibu ke janin selama kehamilan. Pemeriksaan serologis yang mendeteksi antibodi spesifik seperti IgM dan IgG memungkinkan identifikasi dini infeksi primer pada ibu hamil, sehingga risiko penularan ke janin dapat

segera dievaluasi. Deteksi infeksi akut melalui keberadaan IgM atau kombinasi profil serologis tertentu, termasuk uji aviditas IgG, sangat membantu dalam menentukan waktu infeksi dan tingkat risiko terhadap janin. Dengan demikian, diagnosis serologis memungkinkan intervensi medis yang lebih cepat dan tepat, seperti pemberian terapi antiparasit atau pemantauan ketat selama kehamilan, sehingga dapat menurunkan angka morbiditas dan mortalitas akibat infeksi kongenital (Montoya & Liesenfeld, 2004; Dunn et al., 1999; Murray et al., 2021).

G. Deteksi Imunoserologi pada Infeksi Dengue

Dengue merupakan penyakit infeksi yang disebabkan oleh virus dari genus *Flavivirus* dan ditularkan melalui gigitan nyamuk *Aedes*, terutama *Aedes aegypti*, dengan manifestasi klinis yang bervariasi dari demam ringan hingga kondisi berat seperti dengue hemorrhagic fever dan dengue shock syndrome. Dalam praktik klinis, diagnosis dengue tidak hanya bergantung pada gejala klinis, tetapi juga memerlukan konfirmasi laboratorium untuk meningkatkan akurasi, terutama pada fase awal infeksi yang sering kali tidak spesifik. Oleh karena itu, pendekatan diagnostik yang umum digunakan adalah kombinasi pemeriksaan antigen dan antibodi.

1. Deteksi antigen non-structural protein 1 (NS1)

Deteksi antigen non-structural protein 1 (NS1) merupakan metode diagnostik yang dapat mengidentifikasi penyakit Dengue pada

fase sangat awal, bahkan sejak hari pertama hingga sekitar hari kelima demam, ketika respons antibodi belum terbentuk secara signifikan. Protein NS1 adalah glikoprotein yang disekresikan oleh virus dengue ke dalam sirkulasi darah selama fase viremia, sehingga keberadaannya dapat dideteksi menggunakan metode immunoassay seperti ELISA atau rapid diagnostic test. Keunggulan utama deteksi NS1 terletak pada kemampuannya memberikan diagnosis dini yang cepat dan spesifik, sehingga sangat membantu dalam pengambilan keputusan klinis, pemantauan pasien, serta pengendalian penyebaran penyakit. Berbagai studi menunjukkan bahwa uji NS1 memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang cukup tinggi, terutama bila digunakan pada fase akut awal, meskipun performanya dapat dipengaruhi oleh faktor seperti serotipe virus dan status infeksi primer atau sekunder. Pemeriksaan ini memiliki keterbatasan dikarenakan kadar antigen NS1 akan menurun setelah fase akut, sehingga pemeriksaan dapat memberikan hasil negatif palsu pada fase lanjut penyakit. Faktor lain seperti infeksi sekunder dengue juga dapat menurunkan sensitivitas karena terbentuknya kompleks imun antara NS1 dan antibody (Sekaran et al., 2009). Oleh karena itu, hasil pemeriksaan imunokromatografi NS1 seringkali perlu dikombinasikan dengan pemeriksaan lain seperti IgM/IgG atau PCR untuk meningkatkan akurasi diagnosis

Metode deteksi NS-1 yang paling sederhana adalah NS-1 *rapid test* dengan metode ICT. Pemeriksaan antigen NS1 dengan metode imunokromatografi merupakan teknik diagnostik cepat berbasis lateral flow immunoassay yang digunakan untuk mendeteksi protein non-struktural 1 (NS1) dari virus dengue dalam sampel darah secara kualitatif. Kelebihan dari metode deteksi ini adalah: kecepatan, kemudahan penggunaan, dan biaya yang relatif rendah, sehingga sangat cocok digunakan pada fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas maupun di lapangan. Metode ini juga tidak memerlukan peralatan khusus dan dapat dilakukan dengan sampel minimal, sehingga mendukung diagnosis cepat dan penanganan dini pasien. Metode pemeriksaan ini juga memiliki beberapa keterbatasan. Sensitivitas dan spesifisitasnya umumnya lebih rendah dibandingkan ELISA dan RT-PCR, dengan sensitivitas berkisar sekitar 50–80% tergantung waktu pengambilan sampel dan kondisi klinis pasien (Raihan, 2025).

Pemeriksaan NS1 dengan ELISA umumnya menggunakan metode sandwich ELISA, di mana antibodi spesifik terhadap antigen NS1 dilapiskan pada mikrotiter plate untuk menangkap antigen dari sampel serum pasien. Intensitas warna yang terbentuk sebanding dengan konsentrasi antigen NS1 dalam sampel (Alcon et al., 2002). Metode ini banyak digunakan dalam laboratorium rujukan

dikarenakan sensitivitas dan spesifisitas lebih tinggi dibanding rapid test, dapat digunakan untuk analisis semi-kuantitatif dan cocok untuk pemeriksaan skala besar di laboratorium. Adapun kekurangan dari metode ini adalah: membutuhkan peralatan microplate reader, waktu pemeriksaan dalam beberapa jam dan memerlukan tenaga terlatih.

Metode pemeriksaan NS1 CLIA atau ECLIA dalam pemeriksaan NS1, antibodi spesifik akan berikatan dengan antigen NS1 dan menghasilkan emisi cahaya melalui reaksi kimia tertentu, yang kemudian diukur oleh alat luminometer. Intensitas cahaya yang dihasilkan sebanding dengan jumlah antigen dalam sampel (Zhang et al., 2014). Metode ini sering digunakan dalam sistem otomatis di laboratorium modern karena memiliki sensitivitas yang sangat tinggi dan mampu mendeteksi antigen dalam konsentrasi sangat rendah dibandingkan dengan ELISA. Selain itu hasil yang didapatkan lebih cepat. Akantetapai metode ini memiliki kekurangan antara lain: biaya relatif mahal, membutuhkan alat khusus (analyzer) dan alat ini tidak tersedia di semua fasilitas kesehatan.

2. Deteksi Antibodi IgM dan IgG terhadap virus Dengue

Antibodi IgM dan IgG terhadap virus dengue merupakan komponen penting dalam diagnosis serologis yang digunakan untuk menentukan fase infeksi. Metode ini dapat

memberikan informasi kondisi pasien termasuk infeksi primer atau sekunder. Pada infeksi primer, antibodi IgM biasanya mulai terdeteksi sekitar hari ke-3 hingga ke-5 setelah onset demam dan mencapai puncaknya dalam 1–2 minggu, sementara antibodi IgG muncul lebih lambat dan meningkat secara bertahap. Sebaliknya, pada infeksi sekunder, respons IgG terjadi lebih cepat dan dalam kadar yang jauh lebih tinggi akibat adanya memori imunologis dari paparan sebelumnya, sedangkan respons IgM cenderung lebih rendah atau bahkan tidak terdeteksi. Pola perbedaan kinetika antibodi ini menjadi dasar interpretasi hasil uji serologi dalam praktik klinis, sehingga memungkinkan tenaga medis membedakan jenis infeksi yang terjadi, yang penting karena infeksi sekunder sering dikaitkan dengan risiko manifestasi klinis yang lebih berat (WHO,2009; Wilder-Smith et al., 2019)

Metode ELISA dan *rapid test* ICT merupakan dua metode pemeriksaan yang digunakan untuk diagnosis infeksi dengue karena keduanya menawarkan keunggulan dalam hal kemudahan, kecepatan, dan efisiensi. ELISA dikenal memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang tinggi, sehingga sering digunakan sebagai metode rujukan untuk mendeteksi antigen NS1 maupun antibodi IgM dan IgG terhadap virus dengue secara kuantitatif atau semi-kuantitatif. Namun, metode ini memerlukan fasilitas laboratorium

yang memadai serta waktu pemeriksaan yang relatif lebih lama. Sebaliknya, *rapid test* ICT memungkinkan deteksi dalam waktu singkat dan dapat dilakukan di fasilitas pelayanan kesehatan dengan sumber daya terbatas, sehingga sangat bermanfaat untuk skrining awal dan pengambilan keputusan klinis secara cepat. Meskipun sensitivitas *rapid test* umumnya lebih rendah dibandingkan ELISA, penggunaannya tetap luas karena sifatnya yang praktis dan mudah dioperasikan. Oleh karena itu, kedua metode ini sering digunakan secara komplementer dalam praktik klinis untuk meningkatkan akurasi diagnosis dengue (Peeling et al., 2010; Hunsperger et al., 2014)

Pemeriksaan imunoserologi memiliki peran yang sangat penting dalam surveilans epidemiologi dengue karena memungkinkan identifikasi paparan virus baik pada kasus simptomatik maupun asimtomatik di suatu populasi. Melalui deteksi antibodi spesifik seperti IgM dan IgG terhadap virus dengue, metode ini dapat digunakan untuk menilai tingkat transmisi, pola penyebaran, serta status kekebalan masyarakat di wilayah endemis. Selain itu, data seroepidemiologi yang diperoleh dari pemeriksaan imunoserologi juga berkontribusi dalam menentukan insidensi infeksi primer dan sekunder, yang penting untuk memahami dinamika epidemi serta risiko terjadinya kasus berat.

H. Penutup

Teknik imunoserologi merupakan metode yang sangat penting dalam diagnosis berbagai penyakit infeksi karena mampu mendeteksi respons imun tubuh terhadap patogen secara spesifik melalui identifikasi antigen maupun antibodi. Aplikasi teknik ini memungkinkan deteksi dini serta konfirmasi infeksi secara efektif, bahkan pada fase ketika gejala klinis belum tampak jelas. Dalam praktiknya, metode seperti ELISA, CLIA, dan rapid test telah широко digunakan karena menawarkan kombinasi antara sensitivitas, spesifisitas, dan efisiensi waktu. Pemeriksaan imunoserologi juga berperan dalam skrining populasi, surveilans epidemiologi, serta evaluasi status kekebalan individu, misalnya setelah vaksinasi. Dengan demikian, teknik ini tidak hanya berfungsi sebagai alat diagnosis, tetapi juga sebagai komponen penting dalam upaya pencegahan dan pengendalian penyakit infeksi di tingkat individu maupun masyarakat.

Namun, interpretasi hasil pemeriksaan imunoserologi memerlukan pemahaman yang mendalam mengenai dinamika marker serologis, seperti waktu munculnya antigen atau antibodi, kemungkinan reaksi silang, serta adanya periode jendela (*window period*) yang dapat memengaruhi hasil pemeriksaan. Oleh karena itu, kompetensi tenaga laboratorium dalam membaca dan menginterpretasikan hasil sangat menentukan ketepatan diagnosis. Selain itu, integrasi imunoserologi dengan metode diagnostik lain,

seperti pemeriksaan molekuler (PCR/NAT), kultur, serta penilaian klinis, menjadi sangat penting untuk meningkatkan akurasi diagnosis dan mengurangi risiko kesalahan interpretasi. Pendekatan diagnostik yang komprehensif ini pada akhirnya akan mendukung pengambilan keputusan klinis yang lebih tepat serta meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan secara keseluruhan.

I. Daftar Pustaka

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2021). *Cellular and Molecular Immunology*. Elsevier.
- Alcon, S., Talarmin, A., Debruyne, M., Falconar, A., Deubel, V., & Flamand, M. (2002). Enzyme-linked immunosorbent assay specific to dengue virus type 1 nonstructural protein NS1 reveals circulation of the antigen in the blood during the acute phase of disease in patients experiencing primary or secondary infections. *Journal of Clinical Microbiology*, 40(2), 376–381. <https://doi.org/10.1128/JCM.40.2.376-381.2002>
- Al-Matary, A. M., & Al Gashaa, F. A. S. (2022). Comparison of different rapid screening tests and ELISA for HBV, HCV, and HIV among healthy blood donors and recipients at Jibla University Hospital Yemen. *Journal of medicine and life*, 15(11), 1403–1408. <https://doi.org/10.25122/jml-2022-0051>
- Amini, A., Varsaneux, O., Kelly, H., Tang, W., Chen, W., Boeras, D. I., Falconer, J., Tucker, J. D., Chou, R., Ishizaki, A., Easterbrook, P., & Peeling, R. W.

- (2017). Diagnostic accuracy of tests to detect hepatitis B surface antigen: a systematic review of the literature and meta-analysis. *BMC infectious diseases*, 17(Suppl 1), 698. <https://doi.org/10.1186/s12879-017-2772-3>
- Aydin, S., et al. (2025). An overview of ELISA. *Journal of International Medical Research*
- Bramer, S. Ho Yee Cheung, Wesley Do, Mariska M.G. Leeflang, Over-interpretation of findings in diagnostic accuracy studies of infectious diseases, *Clinical Microbiology and Infection*, Volume 29, Issue 8, 2023,
- CDC, 2022 Centers for Disease Control and Prevention. (2022). Laboratory testing for the diagnosis of HIV infection
- Centers for Disease Control and Prevention. (2014). Laboratory Testing for the Diagnosis of HIV Infection: Updated Recommendations.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2014). Laboratory Testing for the Diagnosis of HIV Infection.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2021). Sexually Transmitted Infections Treatment Guidelines
- Centers for Disease Control and Prevention. (2021). Sexually Transmitted Infections Treatment Guidelines.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2023). Hepatitis C Testing and Diagnosis.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2023). Hepatitis C Testing and Diagnosis.

- Centers for Disease Control and Prevention. (2025). Clinical Testing Guidance for HIV.
- Ding, M., et al. (2025). Diagnostic effectiveness of HIV-1 NAT. *BMC Infectious Diseases*.
- Dunn, D., Wallon, M., Peyron, F., Petersen, E., Peckham, C., & Gilbert, R. (1999). Mother-to-child transmission of toxoplasmosis: Risk estimates for clinical counselling. *The Lancet*, 353(9167), 1829–1833
- European Association for the Study of the Liver (EASL). (2020). EASL recommendations on treatment of hepatitis C
- Fan, P. et al. (2015). Enhanced sensitivity for detection of HIV-1 p24 antigen by a novel nuclease-linked fluorescence oligonucleotide assay. *PLOS ONE*.
- Garcia, L. S., & Bruckner, D. A. (2018). *Diagnostic medical parasitology* (6th ed.). ASM Press.
- Gray, E. R., et al. (2018). p24 revisited: A landscape review of antigen detection for early HIV diagnosis
- Hunsperger, E. A., Yoksan, S., Buchy, P., Nguyen, V. C., Sekaran, S. D., Enria, D. A., Vazquez, S., Cartozian, E., Pelegrino, J. L., Artsob, H., Guzman, M. G., & Peeling, R. W. (2014). Evaluation of commercially available anti-dengue virus immunoglobulin M tests. *Emerging Infectious Diseases*, 20(11), 1829–1836.
- Larsen SA, Steiner BM, Rudolph AH. (1995). Laboratory diagnosis and interpretation of tests for syphilis. *Clinical Microbiology Reviews*

- Larsen SA, Steiner BM, Rudolph AH. (1995). Laboratory diagnosis and interpretation of tests for syphilis. *Clinical Microbiology Reviews*.
- Lila Poiteau, Alexandre Soulier, Françoise Roudot-Thoraval, Christophe Hézode, Dominique Challine, Jean-Michel Pawlotsky, Stéphane Chevaliez, (2017). Performance of rapid diagnostic tests for the detection of anti-HBs in various patient populations, *Journal of Clinical Virology*, Volume 96, (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1386653217302755>)
- Lu, H., et al. (2024). Diagnostic performance of HIV antibody rapid test. *BMJ Open*, 14(2).
- Montoya, J. G., & Liesenfeld, O. (2004). Toxoplasmosis. *The Lancet*, 363(9425), 1965–1976.
- Murray, P. R., Rosenthal, K. S., & Pfaller, M. A. (2021). *Medical microbiology* (9th ed.). Elsevier.
- Peeling, R. W., Artsob, H., Pelegriño, J. L., Buchy, P., Cardoso, M. J., Devi, S., Enria, D. A., Farrar, J., Gubler, D. J., Guzman, M. G., Halstead, S. B., Hunsperger, E., Kliks, S., Margolis, H. S., Nathanson, C. M., Nguyen, V. C., Rizzo, N., Vázquez, S., & Yoksan, S. (2010). Evaluation of diagnostic tests: Dengue. *Nature Reviews Microbiology*, 8(12 Suppl), S30–S38. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2459>
- Raihan, R. et al. (2025). NS1 Rapid Card Test for Dengue Detection. *PubMed Central*.

- Robert-Gangneux F, Dardé ML. (2012). Epidemiology of and diagnostic strategies for toxoplasmosis. *Clinical Microbiology Reviews*.
- Saville, R.D. et al. (2001). Fourth-generation ELISA for detection of HIV. *Journal of Clinical Microbiology*.
- Sekaran, Shamala & Ew, C. & Subramaniam, Geetha & Basalingappa, Kanthesh. (2009). Sensitivity of dengue virus NS-1 detection in primary and secondary infections. *African journal of microbiology research*. 3. 105-110.
- Siti Boedina Kresno. (2010). *Imunologi: Diagnosis dan Prosedur Laboratorium (Edisi ke-5)*. Jakarta: Balai Penerbit Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia (BP FKUI).
- Spach, D. H. (2023). *HIV Diagnostic Testing*. University of Washington.
- Tang W, Chen W, Amini A, et al. (2017). Diagnostic accuracy of hepatitis C tests. *Annals of Internal Medicine*.
- Tille, P. (2021). *Bailey & Scott's Diagnostic Microbiology*. Elsevier.
- Wilder-Smith, A., Ooi, E. E., Horstick, O., & Wills, B. (2019). Dengue. *The Lancet*, 393(10169), 350–363. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32560-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32560-1)
- World Health Organization (WHO). (2017). *Guidelines on hepatitis B and C testing*.
- World Health Organization. (2009). *Dengue: Guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control*. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/44188>

- World Health Organization. (2016). WHO guidelines for the treatment of *Treponema pallidum* (syphilis).
- World Health Organization. (2017). Global hepatitis report 2017. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241565455>
- World Health Organization. (2021). Consolidated guidelines on HIV testing services. Geneva: WHO.
- World Health Organization. (2023). Laboratory testing for infectious diseases.
- World Journal of Gastroenterology, 2015; Detection of HBV infection review
- Wu Y, et al. (2019). Comparison of chemiluminescence and ELISA for HBV markers. *Annals of Blood*.
- Zhao, P. et al. (2013). Detection of HIV-1 p24 antigen using chemiluminescence immunoassay. *Future Virology*

BAB 4

INOVASI DAN TANTANGAN MASA DEPAN DALAM IMUNOSEROLOGI KLINIS

Oleh. Imam Agus Faizal

A. Pendahuluan

Imunoserologi klinis merupakan bagian penting dalam diagnostik laboratorium medis karena menghubungkan prinsip imunologi dengan kebutuhan klinis untuk mendeteksi antigen, antibodi, autoantibodi, imunokompleks, sitokin, dan biomarker inflamasi. Pemeriksaan ini digunakan dalam berbagai layanan, mulai dari skrining penyakit infeksi, pemantauan respons vaksinasi, diagnosis penyakit autoimun, alergi, gangguan imunodefisiensi, hingga penilaian aktivitas inflamasi pada penyakit kronik. Dengan demikian, pemahaman imunoserologi tidak hanya berhenti pada kemampuan menjalankan alat, tetapi harus sampai pada kemampuan menjelaskan makna biologis hasil pemeriksaan dan keterbatasannya bagi pengambilan keputusan klinis (Abbas et al., 2021; Rifai et al., 2019).

Perkembangan imunoserologi klinis saat ini bergerak sangat cepat. Teknik manual dan semiotomatis yang dahulu banyak bertumpu pada aglutinasi, presipitasi, dan ELISA konvensional telah

berkembang menjadi CLIA, ECLIA, lateral flow immunoassay, multiplex immunoassay, digital immunoassay, biosensor, microfluidics, dan point-of-care testing. Perubahan ini memberi peluang besar bagi laboratorium untuk menghasilkan pemeriksaan yang lebih cepat, sensitif, efisien, dan terintegrasi, tetapi sekaligus menuntut tata kelola mutu yang lebih ketat, pemahaman validasi metode yang memadai, serta kemampuan interpretasi yang tidak semata-mata mekanis (CLSI, 2023; Zhang et al., 2024).

Topik ini disusun agar mahasiswa Teknologi Laboratorium Medis memahami arah masa depan imunoserologi klinis secara menyeluruh. Mahasiswa perlu melihat inovasi bukan sebagai pengganti peran manusia, melainkan sebagai alat untuk memperkuat ketepatan diagnosis, keselamatan pasien, pemerataan akses, dan profesionalisme laboratorium. Oleh karena itu, pembelajaran pada bab ini menekankan keterpaduan antara dasar imunologi, prosedur laboratorium, mutu analitik, komunikasi hasil, etika penggunaan data, dan kesiapan kompetensi tenaga laboratorium di era digital (ISO, 2022; WHO, 2023).

B. Prosedur Penerapan Inovasi Imunoserologi Klinis di Laboratorium Medis

Pada topik ini, istilah prosedur tidak dimaknai sebagai prosedur pemakaian mikroskop, tetapi disesuaikan dengan pokok bahasan, yaitu prosedur penerapan inovasi imunoserologi klinis di laboratorium medis. Alur ini penting karena setiap

teknologi baru, baik ELISA otomatis, CLIA, ECLIA, POCT, maupun multiplex immunoassay, harus melalui tahapan perencanaan, pemilihan metode, verifikasi, pengendalian mutu, interpretasi, dan evaluasi berkelanjutan sebelum digunakan untuk pelayanan pasien (CLSI, 2023; ISO, 2022).

1. Identifikasi Kebutuhan Klinis dan Analisis Kesenjangan Layanan

Tahap pertama dimulai dari identifikasi kebutuhan klinis. Laboratorium perlu menilai pemeriksaan apa yang paling dibutuhkan oleh klinisi, penyakit apa yang memiliki beban tinggi di wilayah kerja, pemeriksaan apa yang selama ini dirujuk keluar, dan kondisi apa yang menyebabkan keterlambatan diagnosis. Analisis ini membantu laboratorium menentukan apakah inovasi dibutuhkan untuk mempercepat hasil, meningkatkan sensitivitas, memperluas panel pemeriksaan, menurunkan biaya rujukan, atau memperbaiki akses pasien di fasilitas kesehatan primer (Plebani, 2006; WHO, 2023).

Analisis kesenjangan layanan juga perlu memperhatikan kesiapan sumber daya manusia, infrastruktur, listrik, suhu penyimpanan reagen, sistem pencatatan, kemampuan pembiayaan, dan jejaring rujukan. Pemeriksaan yang tampak sederhana, seperti *rapid test* antibodi, tetap dapat menghasilkan keputusan klinis yang salah apabila tidak didukung pelatihan operator, pemantauan lot reagen, kontrol mutu, dan prosedur pelaporan yang jelas (Larkins et al., 2025; WHO, 2025).

2. Pemilihan Platform Berdasarkan Tujuan Pemeriksaan

Setiap platform imunoserologi memiliki karakteristik yang berbeda. ELISA banyak digunakan karena fleksibel, dapat mengukur antigen atau antibodi secara kualitatif maupun kuantitatif, serta cocok untuk pemeriksaan batch. CLIA dan ECLIA lebih unggul pada laboratorium dengan beban sampel tinggi karena dapat bekerja otomatis, memiliki sensitivitas baik, dan mendukung random access. Sementara itu, lateral flow immunoassay lebih sesuai untuk skrining cepat karena sederhana dan dapat digunakan dekat pasien, tetapi hasilnya sering memerlukan konfirmasi sesuai konteks klinis (Rifai et al., 2019; Spicuzza et al., 2023).

Multiplex immunoassay memungkinkan pemeriksaan beberapa analit dari volume sampel kecil, misalnya panel sitokin IL-6, IL-10, TNF-alfa, IFN-gamma, dan kemokin. Teknologi ini bermanfaat untuk penelitian translasi, stratifikasi risiko, pemantauan inflamasi, dan pengembangan biomarker, tetapi membutuhkan desain analitik yang hati-hati karena interaksi antaranalit, perbedaan matriks sampel, batas deteksi, serta kebutuhan analisis statistik dapat lebih kompleks dibanding pemeriksaan tunggal (McKinski et al., 2025; Ward et al., 2025).

3. Verifikasi Metode Sebelum Digunakan

Sebelum metode baru digunakan untuk pelayanan, laboratorium harus melakukan verifikasi sesuai tujuan penggunaan dan tingkat risiko pemeriksaan. Parameter yang perlu diperhatikan meliputi presisi, akurasi atau kesesuaian hasil, sensitivitas, spesifisitas, linearitas untuk metode kuantitatif, batas deteksi, stabilitas reagen, pengaruh matriks, interferensi, dan kesesuaian hasil terhadap metode pembandingan. Pemeriksaan kualitatif seperti rapid test antibodi perlu diverifikasi dengan panel positif dan negatif yang memadai agar laboratorium memahami kemampuan metode dalam membedakan status reaktif dan nonreaktif (CLSI, 2023; ISO, 2022).

Verifikasi tidak boleh dipahami sebagai kegiatan administratif semata. Pada praktiknya, verifikasi merupakan jembatan antara klaim pabrik dan kondisi nyata laboratorium, karena performa metode dapat dipengaruhi oleh karakteristik populasi pasien, jenis spesimen, keterampilan operator, transportasi sampel, suhu penyimpanan, dan frekuensi pemeriksaan. Oleh karena itu, tenaga laboratorium perlu membaca petunjuk pabrik secara kritis, mendokumentasikan hasil verifikasi, serta menetapkan batas penerimaan sebelum metode dilaporkan kepada klinisi (CLSI, 2023; Tate & Ward, 2004).

4. Pengendalian Mutu, Keselamatan Kerja, dan Evaluasi Berkelanjutan

Pemeriksaan imunoserologi modern tetap bergantung pada mutu proses dasar. Sampel hemolisis, lipemik, ikterik, kontaminasi fibrin, volume tidak mencukupi, penyimpanan terlalu lama, atau siklus beku-cair berulang dapat memengaruhi hasil pemeriksaan. Karena itu, tahap pra-analitik harus dikendalikan melalui prosedur penerimaan sampel, pelabelan, sentrifugasi, pemisahan serum atau plasma, penyimpanan, dan transportasi yang baku (Lippi et al., 2011; Plebani, 2006).

Pengendalian mutu internal dan external quality assessment merupakan bagian penting dalam menjaga keandalan hasil imunoserologi. Kontrol positif, kontrol negatif, kalibrator, grafik mutu, pemantauan lot reagen, audit ketidaksesuaian, serta tindakan korektif harus menjadi budaya laboratorium. Pemeriksaan dengan implikasi klinis besar, seperti HIV, hepatitis, sifilis, autoantibodi, dan biomarker jantung, perlu mendapat perhatian khusus karena kesalahan dapat berdampak langsung pada diagnosis, terapi, konseling pasien, dan keselamatan masyarakat (ISO, 2022; WHO, 2025).

Keselamatan kerja juga tidak dapat dipisahkan dari inovasi. Sampel serum, plasma, darah utuh, cairan tubuh, dan bahan kontrol dapat mengandung patogen, sehingga praktik biosafety, penggunaan alat pelindung diri,

dekontaminasi, manajemen limbah infeksius, serta pencegahan pajanan tetap menjadi kewajiban. Peralatan otomatis memang mengurangi kontak langsung, tetapi tidak menghilangkan risiko tumpahan, aerosol, tertusuk benda tajam, atau kesalahan penanganan reagen kimia (ISO, 2022; McPherson & Pincus, 2022).

5. Interpretasi, Pelaporan, dan Komunikasi Hasil
Hasil imunoserologi harus diinterpretasikan berdasarkan prinsip imunologi dan konteks klinis. Hasil antibodi positif dapat menunjukkan infeksi lampau, infeksi aktif tertentu, respons vaksinasi, reaksi silang, atau antibodi maternal pada bayi. Sebaliknya, hasil antibodi negatif tidak selalu menyingkirkan penyakit bila pasien masih berada pada window period atau mengalami gangguan respons imun. Oleh karena itu, tenaga laboratorium perlu memahami waktu munculnya IgM, IgG, IgA, antigen, dan biomarker inflamasi pada setiap penyakit (Abbas et al., 2021; Rifai et al., 2019).

Komunikasi dengan klinisi menjadi sangat penting apabila hasil tidak sesuai dengan gambaran klinis. Tenaga laboratorium perlu berani menyarankan pengulangan sampel, pemeriksaan konfirmasi, pemeriksaan molekuler, atau korelasi dengan data klinis bila ditemukan hasil meragukan. Komunikasi yang baik tidak melemahkan peran laboratorium, tetapi justru memperkuat fungsi laboratorium sebagai mitra

klinis yang menjaga mutu informasi diagnostik (Plebani, 2006; WHO, 2023)

Tabel 4.1 berikut memberikan ringkasan beberapa arah inovasi imunoserologi klinis dan konsekuensi penerapannya di laboratorium medis (CLSI, 2023; Zhang et al., 2024).

Inovasi	Contoh aplikasi	Keunggulan	Tantangan
<i>CLIA/ECLIA</i> otomatis	Hormon, marker infeksi, antibodi, autoantibodi	Cepat, sensitif, <i>throughput</i> tinggi	Biaya alat, kalibrasi, dan perbedaan platform
Lateral flow immunoassay	Skrining cepat infeksi dan antibodi	Praktis dan dekat dengan pasien	Sensitivitas bervariasi dan perlu konfirmasi
Multiplex immunoassay	Panel sitokin dan biomarker inflamasi	Banyak analit dari sampel kecil	Validasi kompleks dan analisis data lebih sulit
Digital immunoassay	Biomarker kadar sangat rendah	Ultrasensitif dan prospektif untuk deteksi dini	Harga, standardisasi, dan kebutuhan keahlian
Biosensor/ <i>microfluidics</i>	<i>POCT</i> dan <i>lab-on-a-chip</i>	Cepat, portabel, dan hemat sampel	Stabilitas, produksi massal, dan regulasi
<i>AI</i> dan <i>LIS</i> terintegrasi	Validasi hasil, delta check, prediksi risiko	Mendukung efisiensi dan interpretasi	Etika data, bias algoritma, dan keamanan informasi

Keterangan: Ringkasan pada tabel menggambarkan bahwa setiap inovasi memiliki manfaat sekaligus risiko implementasi, sehingga keputusan penggunaan harus mempertimbangkan kebutuhan klinis, mutu

analitik, sumber daya, dan keberlanjutan layanan (CLSI, 2023; ISO, 2022).

C. Struktur dan Fungsi Komponen Imunoserologi dalam Diagnostik Masa Depan

Struktur dan fungsi dalam topik ini dimaknai sebagai struktur komponen imun yang diperiksa, struktur platform pemeriksaan, serta fungsi diagnostik yang dihasilkan. Imunoserologi bekerja melalui interaksi spesifik antigen dan antibodi, lalu mengubah interaksi tersebut menjadi sinyal yang dapat dibaca sebagai aglutinasi, perubahan warna, fluoresensi, chemiluminescence, elektrochemiluminescence, sinyal optik, sinyal elektrokimia, atau data numerik digital (Abbas et al., 2021; Terzapulo et al., 2024).

1. Antigen, Antibodi, dan Imunokompleks sebagai Dasar Pemeriksaan

Antigen adalah molekul yang dapat dikenali oleh sistem imun, sedangkan antibodi adalah immunoglobulin yang diproduksi oleh sel plasma sebagai respons terhadap antigen. Dalam diagnostik, antigen dapat berasal dari patogen, jaringan tubuh, tumor, atau bahan alergen, sedangkan antibodi dapat menggambarkan paparan, infeksi, autoimunitas, vaksinasi, atau reaksi imun tertentu. Contohnya, antibodi terhadap *Treponema pallidum* digunakan dalam diagnosis sifilis, antibodi terhadap *Plasmodium* spp. dapat dipakai dalam surveilans malaria, dan antigen tertentu dapat digunakan untuk mendeteksi infeksi aktif pada

fase yang lebih awal (Abbas et al., 2021; WHO, 2025).

Imunokompleks terbentuk ketika antigen dan antibodi berikatan. Pada pemeriksaan laboratorium, ikatan ini dirancang agar menghasilkan sinyal yang dapat diukur. Keberhasilan pemeriksaan dipengaruhi oleh afinitas antibodi, aviditas, konsentrasi antigen, matriks sampel, suhu reaksi, waktu inkubasi, pH, pencucian, dan kemampuan sistem pembaca mendeteksi sinyal. Karena itu, hasil imunoserologi selalu merupakan gabungan antara fenomena biologis pasien dan performa sistem analitik di laboratorium (Rifai et al., 2019; Tate & Ward, 2004).

2. Fungsi ELISA, CLIA, dan ECLIA

ELISA memiliki struktur dasar berupa fase padat, antigen atau antibodi penangkap, sampel, antibodi deteksi berlabel enzim, substrat, dan pembacaan absorbansi. Metode ini tetap relevan karena fleksibel, relatif mudah dikembangkan, dan dapat digunakan untuk banyak parameter, mulai dari antibodi infeksi hingga sitokin. Keterbatasannya adalah kebutuhan waktu inkubasi, proses pencucian, risiko variasi manual, serta throughput yang tidak selalu memadai untuk laboratorium dengan beban sampel tinggi (Rifai et al., 2019; Terzapulo et al., 2024).

CLIA dan ECLIA menggunakan sinyal cahaya yang dihasilkan dari reaksi kimia atau elektrokimia. Platform ini banyak digunakan

pada laboratorium modern karena mampu mempercepat turnaround time, meningkatkan sensitivitas, dan mengurangi variasi manual melalui otomatisasi. Meskipun demikian, otomatisasi tidak menghilangkan tanggung jawab ilmiah tenaga laboratorium karena setiap sistem memiliki cut-off, kalibrator, antibodi reagen, algoritma interpretasi, dan potensi interferensi yang harus dipahami (McPherson & Pincus, 2022; Rifai et al., 2019).

3. Multiplex, Sitokin, dan Profil Imun

Masa depan imunoserologi bergerak dari pemeriksaan tunggal menuju profil imun. Penyakit infeksi, autoimun, alergi, keganasan, dan gangguan inflamasi kronik sering kali tidak dapat dijelaskan hanya dari satu biomarker. Multiplex immunoassay memungkinkan pemeriksaan banyak sitokin atau antibodi sekaligus, sehingga dapat membantu memahami pola imun pasien, misalnya dominasi inflamasi, regulasi imun, respons antiviral, atau aktivasi sel T dan makrofag (McKinski et al., 2025; Ward et al., 2025).

Pemeriksaan sitokin memiliki tantangan besar karena kadar sitokin dapat berubah cepat dan dipengaruhi waktu pengambilan darah, jenis antikoagulan, proses sentrifugasi, siklus beku-cair, serta lama penyimpanan. Hasil sitokin juga tidak boleh ditafsirkan secara terpisah dari kondisi klinis karena peningkatan IL-6, TNF-alfa, IL-10, atau IFN-gamma dapat terjadi pada berbagai penyakit inflamasi. Dengan demikian,

profil imun lebih tepat digunakan sebagai bagian dari interpretasi komprehensif, bukan sebagai satu-satunya dasar diagnosis (Abbas et al., 2021; McKinski et al., 2025).

4. *Point-of-Care Testing* dan Pemerataan Akses

Point-of-care testing menjadi salah satu arah penting imunoserologi masa depan karena mendekatkan pemeriksaan kepada pasien. Pemeriksaan cepat dapat bermanfaat di puskesmas, instalasi gawat darurat, klinik, kegiatan skrining lapangan, dan situasi wabah. WHO juga menempatkan beberapa pemeriksaan berbasis immunoassay dan lateral flow RDT sebagai bagian penting dalam daftar diagnostik esensial, misalnya untuk HIV, hepatitis, sifilis, dan beberapa penyakit infeksi lain (Larkins et al., 2025; WHO, 2025).

Tantangan utama POCT adalah menjaga mutu di luar laboratorium sentral. Operator harus dilatih, prosedur harus sederhana, kontrol mutu harus tersedia, lot reagen harus ditelusuri, dan hasil harus masuk ke sistem pencatatan agar tidak hilang dari rekam medis pasien. Tanpa tata kelola tersebut, POCT dapat mempercepat keluarnya hasil, tetapi belum tentu meningkatkan mutu keputusan klinis (Larkins et al., 2025; ISO, 2022).

5. Biosensor, Microfluidics, dan Digital Immunoassay

Biosensor mengubah interaksi biologis menjadi sinyal fisik atau kimia yang dapat diukur, misalnya sinyal elektrokimia, optik,

fluoresensi, atau Raman. Microfluidics memungkinkan manipulasi volume cairan yang sangat kecil pada kanal mikro, sehingga pemeriksaan dapat dilakukan lebih hemat sampel, lebih cepat, dan berpotensi terintegrasi dalam sistem lab-on-a-chip. Teknologi ini membuka peluang pemeriksaan imunoserologi yang lebih portabel, personal, dan dekat dengan pelayanan primer (Parihar et al., 2025; Terzapulo et al., 2024).

Digital immunoassay dan single-molecule array dikembangkan untuk mendeteksi biomarker dalam kadar sangat rendah. Teknologi ini memiliki prospek besar untuk deteksi dini penyakit, pemantauan inflamasi minimal, dan penelitian biomarker baru. Namun, penerapannya di pelayanan rutin masih menghadapi tantangan biaya, standardisasi, kebutuhan instrumen khusus, pelatihan operator, serta pembuktian manfaat klinis pada populasi nyata (Terzapulo et al., 2024; Zhang et al., 2024).

6. Digitalisasi Laboratorium dan Artificial Intelligence

Laboratory information system, middleware, dan integrasi data klinis memungkinkan hasil imunoserologi tidak lagi berdiri sebagai angka tunggal, tetapi menjadi bagian dari informasi pasien yang lebih luas. Sistem digital dapat membantu validasi hasil, pelacakan sampel, delta check, pemantauan turnaround time, pengawasan kontrol mutu,

dan pelaporan otomatis. Pada laboratorium besar, digitalisasi juga membantu manajemen beban kerja dan mengurangi risiko kesalahan transkripsi (ISO, 2022; You et al., 2025).

Artificial intelligence dan *machine learning* berpotensi membantu laboratorium dalam mengenali pola data, memprediksi risiko, memilih pemeriksaan lanjutan, mengidentifikasi hasil tidak lazim, dan mendukung efisiensi operasional. Namun, penggunaan AI harus memperhatikan transparansi algoritma, validasi lokal, keamanan data, bias populasi, perlindungan privasi, dan tanggung jawab profesional. AI seharusnya diposisikan sebagai pendukung keputusan, bukan pengganti penalaran ilmiah tenaga laboratorium dan klinisi (Oduoye et al., 2024; You et al., 2025).

7. Tantangan Interpretasi dan Interferensi

Salah satu tantangan besar imunoserologi adalah reaksi silang. Antibodi yang terbentuk terhadap satu antigen dapat bereaksi dengan antigen lain yang memiliki kemiripan epitop, sehingga menimbulkan hasil reaktif palsu. Hal ini sering menjadi perhatian pada infeksi virus, penyakit autoimun, dan pemeriksaan berbasis antibodi. Interpretasi harus memperhatikan gejala, riwayat pajanan, waktu sakit, vaksinasi, prevalensi penyakit, dan hasil pemeriksaan pendukung (Abbas et al., 2021; Tate & Ward, 2004).

Interferensi juga dapat berasal dari heterophile antibodies, human anti-animal

antibodies, rheumatoid factor, biotin interference, hemolysis, lipemia, ikterus, dan efek matriks. Pada beberapa immunoassay, biotin dosis tinggi dapat mengganggu sistem streptavidin-biotin dan menyebabkan hasil salah tinggi atau salah rendah tergantung format pemeriksaan. Tenaga laboratorium harus memahami tanda-tanda interferensi, meninjau riwayat pasien, melakukan pengenceran, menggunakan metode alternatif, atau berkomunikasi dengan klinisi bila hasil tidak masuk akal secara klinis (Kricka, 1999; Setty et al., 2020; Tate & Ward, 2004).

Fenomena hook effect atau prozone effect perlu diperhatikan terutama pada pemeriksaan dengan konsentrasi antigen atau antibodi sangat tinggi. Pada kondisi ini, sinyal dapat tampak lebih rendah dari seharusnya karena kelebihan analit mengganggu pembentukan kompleks yang optimal. Kewaspadaan terhadap fenomena ini penting pada pemeriksaan hormon, marker tumor, antigen infeksi, dan beberapa autoantibodi, terutama bila hasil laboratorium tidak sesuai dengan gambaran klinis pasien (Rifai et al., 2019; Tate & Ward, 2004).

8. Standardisasi, Regulasi, dan Etika Implementasi
Standardisasi menjadi tantangan utama karena hasil imunoserologi dari platform berbeda belum tentu dapat dibandingkan secara langsung. Perbedaan antigen reagen, antibodi penangkap, kalibrator, satuan, cut-off,

algoritma, dan populasi validasi dapat menghasilkan perbedaan interpretasi. Karena itu, laboratorium perlu memahami bahwa pergantian metode atau alat dapat mengubah nilai rujukan, tren hasil, dan keputusan klinis, sehingga komunikasi kepada pengguna layanan harus dilakukan secara terencana (CLSI, 2023; Miller et al., 2021).

Regulasi dan akreditasi menuntut laboratorium untuk menerapkan sistem manajemen mutu yang terdokumentasi. ISO 15189 menekankan kompetensi, keselamatan pasien, pengelolaan risiko, validitas hasil, ketertelusuran, dan perbaikan berkelanjutan. Dalam konteks inovasi, standar ini mengajarkan bahwa teknologi baru tidak boleh hanya dinilai dari kecanggihannya, tetapi dari kemampuannya menghasilkan hasil yang benar, tepat waktu, aman, dapat ditelusuri, dan bermanfaat bagi pasien (ISO, 2022; Guzel & Guner, 2009).

Etika implementasi juga menjadi perhatian karena digitalisasi laboratorium menghasilkan data pasien dalam jumlah besar. Penggunaan cloud-based system, integrasi LIS, dan AI harus menjamin kerahasiaan data, kontrol akses, keamanan siber, persetujuan penggunaan data, serta pencegahan bias algoritma. Laboratorium harus menempatkan keselamatan pasien dan keadilan akses sebagai dasar pengembangan inovasi, bukan hanya

efisiensi biaya atau kecepatan layanan (ISO, 2022; Oduoye et al., 2024).

9. Kesiapan Kompetensi Tenaga Teknologi Laboratorium Medis

Tenaga Teknologi Laboratorium Medis masa depan perlu memiliki kompetensi yang lebih luas daripada keterampilan teknis menjalankan alat. Kompetensi tersebut meliputi pemahaman imunologi, statistik dasar, verifikasi metode, manajemen mutu, keselamatan kerja, informatika laboratorium, komunikasi interprofesional, literasi data, dan kemampuan membaca literatur ilmiah. Perubahan teknologi akan terus terjadi, tetapi dasar ilmiah dan sikap profesional tetap menjadi fondasi utama (McPherson & Pincus, 2022; You et al., 2025).

Dalam pembelajaran imunoserologi, mahasiswa perlu dibiasakan berpikir dari hulu ke hilir. Hasil pemeriksaan yang tampak sederhana sebenarnya dimulai dari pemilihan pasien, waktu pengambilan sampel, kualitas spesimen, prinsip reaksi antigen-antibodi, performa reagen, kalibrasi alat, kontrol mutu, interpretasi, hingga komunikasi hasil. Dengan cara berpikir ini, mahasiswa akan lebih siap menghadapi laboratorium modern yang menuntut ketepatan, kecepatan, keselamatan, dan akuntabilitas (CLSI, 2023; ISO, 2022).

Secara ringkas, inovasi imunoserologi klinis harus dipahami sebagai proses perubahan yang bertanggung jawab. Teknologi dapat memperkuat diagnosis, tetapi tidak boleh

menghilangkan penalaran ilmiah. Laboratorium yang baik bukan hanya laboratorium yang memiliki alat modern, melainkan laboratorium yang mampu menjamin mutu hasil, memahami keterbatasan metode, berkomunikasi dengan klinisi, melindungi pasien, dan terus belajar mengikuti perkembangan ilmu (Abbas et al., 2021; WHO, 2023).

D. Penutupan

Inovasi imunoserologi klinis seperti CLIA, ECLIA, multiplex immunoassay, biosensor, dan AI merevolusi diagnostik dengan sensitivitas tinggi, kecepatan, dan integrasi data. Namun, tantangan seperti interferensi, standarisasi, etika data, dan kompetensi SDM tetap krusial. Laboratorium harus prioritaskan verifikasi, mutu, keselamatan, serta komunikasi hasil untuk keselamatan pasien. Mahasiswa Teknologi Laboratorium Medis diharapkan siap menghadapi era digital dengan pengetahuan imunologi mendalam, manajemen mutu, dan sikap profesional berkelanjutan, menjadikan inovasi sebagai alat penguatan diagnosis akurat dan pemerataan akses layanan kesehatan.

E. Daftar Pustaka

- Abbas, A. K., Lichtman, A. H., & Pillai, S. (2021). Cellular and molecular immunology (10th ed.). Elsevier.
- Clinical and Laboratory Standards Institute. (2023). Evaluation of qualitative, binary output

- examination performance (3rd ed.; CLSI guideline EP12). Clinical and Laboratory Standards Institute.
- Guzel, O., & Guner, E. I. (2009). ISO 15189 accreditation: Requirements for quality and competence of medical laboratories, experience of a laboratory I. *Clinical Biochemistry*, 42(4–5), 274–278.
<https://doi.org/10.1016/j.clinbiochem.2008.09.011>
- International Organization for Standardization. (2022). ISO 15189:2022 Medical laboratories: Requirements for quality and competence. International Organization for Standardization.
- Kricka, L. J. (1999). Human anti-animal antibody interferences in immunological assays. *Clinical Chemistry*, 45(7), 942–956.
<https://doi.org/10.1093/clinchem/45.7.942>
- Larkins, M. C., Zubair, M., & Thombare, A. (2025). Point-of-care testing. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Lippi, G., Chance, J. J., Church, S., Dazzi, P., Fontana, R., Giavarina, D., Grankvist, K., Huisman, W., Kouri, T., Palicka, V., Plebani, M., Puro, V., Salvagno, G. L., Sandberg, S., Sikaris, K., Watson, I., Stankovic, A. K., & Simundic, A. M. (2011). Preanalytical quality improvement: From dream to reality. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 49(7), 1113–1126. <https://doi.org/10.1515/CCLM.2011.600>
- McKinski, K., Tang, H., Wang, K., & colleagues. (2025). Comparison of highly sensitive, multiplex immunoassay platforms for streamlined clinical

- cytokine quantification. *Bioanalysis*, 17(15), 1–13.
<https://doi.org/10.1080/17576180.2024.2442190>
- McPherson, R. A., & Pincus, M. R. (Eds.). (2022). *Henry's clinical diagnosis and management by laboratory methods* (24th ed.). Elsevier.
- Miller, W. G., Greenberg, N., & Budd, J. R. (2021). Roadmap for harmonization of clinical laboratory measurement procedures. *Clinical Chemistry*, 67(5), 759–763.
<https://doi.org/10.1093/clinchem/hvab021>
- Oduoye, M. O., Okolo, C. A., Adeniyi, A. O., & colleagues. (2024). Impacts of the advancement in artificial intelligence on laboratory medicine in low- and middle-income countries. *Health Science Reports*, 7(1), e1859.
<https://doi.org/10.1002/hsr2.1859>
- Omidfar, K., Khorsand, F., & Azizi, M. D. (2023). Lateral flow assay: A summary of recent progress for improving assay performance. *Biosensors*, 13(9), 837. <https://doi.org/10.3390/bios13090837>
- Parihar, M., Sahu, M., & colleagues. (2025). Point-of-care biosensors for infectious disease diagnosis. *Biosensors and Bioelectronics*, 268, 116761.
- Plebani, M. (2006). Errors in clinical laboratories or errors in laboratory medicine? *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 44(6), 750–759.
<https://doi.org/10.1515/CCLM.2006.123>
- Rifai, N., Horvath, A. R., & Wittwer, C. T. (Eds.). (2019). *Tietz textbook of clinical chemistry and molecular diagnostics* (6th ed.). Elsevier.
- Setty, M. K. H. G., Lee, S., Lathrop, J., & Hewlett, I. K. (2020). Biotin interference in point of care HIV

- immunoassay. *BioResearch Open Access*, 9(1), 243–246.
<https://doi.org/10.1089/biores.2020.0035>
- Spicuzza, L., Montineri, A., Manuele, R., Crimi, C., Pistorio, M. P., Campisi, R., & Crimi, N. (2023). An update on lateral flow immunoassay for the rapid detection of SARS-CoV-2 antibodies. *AIMS Microbiology*, 9(2), 375–401.
<https://doi.org/10.3934/microbiol.2023020>
- Tate, J., & Ward, G. (2004). Interferences in immunoassay. *Clinical Biochemist Reviews*, 25(2), 105–120.
- Terzapulo, X., Nurgali, K., Makhatayeva, A., & colleagues. (2024). Immunoassays: Analytical and clinical performance, challenges, and perspectives of SERS detection in comparison with fluorescent spectroscopic detection. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(4), 2080. <https://doi.org/10.3390/ijms25042080>
- Ward, S., Cameron, E., Arnold, B. F., & colleagues. (2025). Integrated serosurveillance of infectious diseases using multiplex bead assays: A systematic review. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, 10(1), 19.
<https://doi.org/10.3390/tropicalmed10010019>
- World Health Organization. (2023). The selection and use of essential in vitro diagnostics: Report of the fourth meeting of the WHO Strategic Advisory Group of Experts on In Vitro Diagnostics, 2022. World Health Organization.
- World Health Organization. (2025). WHO model list of essential in vitro diagnostics. WHO MEDEVIS

- platform. <https://edl.who-healthtechnologies.org/>
- You, J., Seok, H. S., Kim, S., & Shin, H. (2025). Advancing laboratory medicine practice with machine learning: Swift yet exact. *Annals of Laboratory Medicine*, 45(1), 22–35. <https://doi.org/10.3343/alm.2024.0354>
- Zhang, Y., Gu, H., & Xu, H. (2024). Recent progress in digital immunoassay: How to achieve ultrasensitive, multiplex and clinical accessible detection? *Sensors & Diagnostics*, 3, 121–136. <https://doi.org/10.1039/D3SD00144J>
- Zhou, W., & Tang, B. (2020). Nanoparticle-based immunoassays toward clinical applications. *Chemical Society Reviews*, 49(24), 8857–8897. <https://doi.org/10.1039/D0CS00506F>

PENUTUP

Oleh. Larantika Hidayati

Imunoserologi merupakan salah satu cabang ilmu yang memiliki peran penting dalam bidang diagnostik laboratorium medis. Melalui pemanfaatan reaksi spesifik antara antigen dan antibodi, pemeriksaan imunoserologi mampu membantu mendeteksi berbagai penyakit secara lebih cepat, sensitif, dan akurat. Perkembangan teknologi laboratorium juga semakin memperluas penggunaan imunoserologi dalam pelayanan kesehatan, baik untuk diagnosis penyakit infeksi, autoimun, pemeriksaan hormon, maupun alergi.

Pada Bab 1 dibahas prinsip dasar imunologi dan serologi yang meliputi sistem imun bawaan dan adaptif, antigen, antibodi, serta reaksi antigen–antibodi. Pemahaman dasar ini menjadi landasan penting dalam memahami berbagai metode pemeriksaan imunoserologi dan interpretasi hasil laboratorium.

Bab 2 membahas teknik deteksi antigen dan antibodi dalam laboratorium medis, seperti metode aglutinasi, imunokromatografi, dan ELISA. Pembahasan dalam bab ini memberikan gambaran mengenai prinsip kerja, prosedur pemeriksaan, serta kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode yang digunakan dalam praktik laboratorium.

Selanjutnya, Bab 3 menjelaskan penerapan imunoserologi dalam berbagai pemeriksaan klinis, terutama dalam diagnosis penyakit infeksi, gangguan autoimun, pemeriksaan hormonal, dan kondisi alergi.

Bab ini menunjukkan bahwa imunoserologi memiliki kontribusi besar dalam membantu tenaga kesehatan menegakkan diagnosis secara tepat.

Pada Bab 4 dibahas perkembangan dan inovasi imunoserologi dalam laboratorium medis, termasuk tantangan serta peluang pengembangan metode diagnostik di masa depan. Kemajuan teknologi diharapkan mampu meningkatkan kualitas pemeriksaan laboratorium sehingga pelayanan kesehatan menjadi lebih efektif dan efisien.

Secara keseluruhan, buku Imunoserologi dalam Diagnostik Laboratorium Medis diharapkan dapat menjadi sumber pembelajaran dan referensi yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, tenaga laboratorium medis, dan praktisi kesehatan. Melalui pemahaman teori dan penerapan imunoserologi yang baik, diharapkan kualitas pelayanan laboratorium dan ketepatan diagnosis penyakit dapat terus meningkat.

GLOSARIUM

1. **ADCC (Antibody-Dependent Cellular Cytotoxicity)**
Mekanisme penghancuran sel target oleh sel imun melalui bantuan antibodi.
2. **Aglutinasi**
Reaksi penggumpalan partikel antigen oleh antibodi akibat terbentuknya ikatan silang.
3. **Aglutinasi Lateks**
Metode pemeriksaan yang menggunakan partikel lateks sebagai pembawa antigen atau antibodi untuk mendeteksi reaksi imunologis.
4. **Afinitas**
Kekuatan ikatan antara satu epitop antigen dengan satu situs pengikatan antibodi.
5. **Alergen**
Zat yang dapat memicu reaksi alergi pada individu tertentu.
6. **ANA (Antinuclear Antibody)**
Autoantibodi yang bereaksi terhadap komponen inti sel dan digunakan dalam pemeriksaan penyakit autoimun.
7. **Antibodi (Imunoglobulin)**
Protein yang diproduksi limfosit B atau sel plasma sebagai respons terhadap antigen.
8. **Antigen**
Zat asing yang mampu merangsang respons imun dan berikatan dengan antibodi atau reseptor imun.
9. **Autoantibodi**
Antibodi yang menyerang jaringan atau komponen tubuh sendiri.

10. **Aviditas**
Kekuatan total ikatan antara antigen dan antibodi dalam suatu kompleks imun.
11. **Carrier**
Molekul pembawa yang membantu hapten agar dapat memicu respons imun.
12. **CLIA (Chemiluminescence Immunoassay)**
Metode imunoserologi yang menggunakan reaksi cahaya untuk mendeteksi antigen atau antibodi.
13. **ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay)**
Metode imunoserologi berbasis enzim untuk mendeteksi antigen atau antibodi.
14. **ELISA Direct**
Metode ELISA yang menggunakan antibodi atau antigen berlabel enzim secara langsung.
15. **ELISA Indirect**
Metode ELISA yang menggunakan antibodi sekunder berlabel enzim untuk mendeteksi antibodi primer.
16. **ELISA Sandwich**
Metode ELISA yang menjepit antigen di antara dua antibodi spesifik.
17. **Epitop**
Bagian spesifik antigen yang dikenali oleh antibodi atau reseptor imun.
18. **Fagositosis**
Proses penghancuran mikroorganisme atau partikel asing oleh sel fagosit.
19. **Hapten**
Molekul kecil yang tidak dapat memicu respons imun tanpa bantuan carrier.

20. **HBsAg**
Antigen permukaan virus hepatitis B yang digunakan sebagai penanda infeksi aktif.
21. **Hemaglutinasi**
Reaksi aglutinasi yang melibatkan eritrosit sebagai antigen.
22. **hCG (Human Chorionic Gonadotropin)**
Hormon yang digunakan sebagai penanda kehamilan.
23. **IgA (Imunoglobulin A)**
Antibodi yang banyak ditemukan pada sekresi mukosa.
24. **IgD (Imunoglobulin D)**
Imunoglobulin yang berfungsi sebagai reseptor pada limfosit B.
25. **IgE (Imunoglobulin E)**
Antibodi yang berperan dalam reaksi alergi dan pertahanan terhadap parasit.
26. **IgG (Imunoglobulin G)**
Imunoglobulin utama dalam sirkulasi darah yang memberikan perlindungan jangka panjang.
27. **IgM (Imunoglobulin M)**
Antibodi pertama yang diproduksi pada awal respons imun.
28. **Imun Adaptif**
Sistem imun spesifik yang memiliki memori imunologis.
29. **Imun Bawaan (Innate Immunity)**
Sistem pertahanan tubuh nonspesifik yang bekerja cepat terhadap patogen.

30. **Imunokromatografi**
Metode rapid test berbasis aliran kapiler pada membran untuk mendeteksi antigen atau antibodi.
31. **Imunoserologi**
Cabang ilmu yang mempelajari reaksi antigen dan antibodi dalam serum untuk tujuan diagnostik.
32. **Immunoassay**
Metode pemeriksaan yang memanfaatkan reaksi antigen-antibodi untuk mendeteksi zat tertentu.
33. **Imunogen**
Antigen yang mampu secara langsung merangsang respons imun.
34. **Kompleks Imun**
Gabungan antara antigen dan antibodi yang terbentuk dalam reaksi imunologis.
35. **Komplemen**
Sistem protein plasma yang membantu proses penghancuran patogen.
36. **Limfosit B**
Sel imun yang menghasilkan antibodi.
37. **Limfosit T**
Sel imun yang berperan dalam respons imun seluler.
38. **Makrofag**
Sel fagosit yang berfungsi menghancurkan patogen dan menghasilkan sitokin.
39. **Memori Immunologis**
Kemampuan sistem imun untuk mengenali kembali antigen yang pernah masuk sebelumnya.
40. **Opsonisasi**
Proses penandaan patogen oleh antibodi agar mudah difagositosis.

41. **Paratop**
Bagian antibodi yang berikatan dengan epitop antigen.
42. **PAMPs (Pathogen-Associated Molecular Patterns)**
Pola molekul khas mikroorganisme yang dikenali oleh sistem imun bawaan.
43. **Presipitasi**
Reaksi antara antigen larut dan antibodi yang menghasilkan endapan.
44. **PRRs (Pattern Recognition Receptors)**
Reseptor pada sel imun yang mengenali PAMPs.
45. **Rapid Test**
Metode pemeriksaan cepat berbasis imunokromatografi.
46. **Rheumatoid Factor (RF)**
Autoantibodi yang sering ditemukan pada rheumatoid arthritis.
47. **Sel Natural Killer (NK)**
Sel imun bawaan yang mampu menghancurkan sel abnormal atau terinfeksi virus.
48. **Serologi**
Cabang ilmu yang mempelajari reaksi antigen dan antibodi dalam serum.
49. **Sitokin**
Protein mediator yang berfungsi mengatur respons imun.
50. **Titer**
Kadar atau konsentrasi antibodi dalam serum.
51. **Toleransi Imun**
Kemampuan sistem imun untuk tidak menyerang jaringan tubuh sendiri.

52. **Window Period**

Periode ketika antibodi belum dapat dideteksi meskipun infeksi telah terjadi.

BIOGRAFI EDITOR

Larantika Hidayati, S.ST., M.Imun



Editor merupakan dosen Teknologi Laboratorium Medik (TLM) di STIKes Borneo Cendekia Medika dengan jabatan akademik Asisten Ahli. Editor menyelesaikan pendidikan D4 Teknologi Laboratorium Medis di Poltekkes Kemenkes Mataram dan melanjutkan studi Magister Imunologi di Universitas Airlangga. Dengan latar belakang keilmuan TLM dan imunologi, Editor memiliki minat kuat pada pengembangan ilmu laboratorium medis, imunologi, serta peningkatan mutu pendidikan kesehatan berbasis riset.

Selain aktif dalam pengajaran berbagai mata kuliah bidang TLM seperti imunoserologi, hematologi, bakteriologi, kimia klinik, hingga manajemen laboratorium, Editor juga berpengalaman sebagai Ketua Program Studi serta praktisi laboratorium klinik. Terlibat sebagai reviewer jurnal, reviewer soal uji kompetensi nasional, developer dan penguji OSCE, serta aktif dalam organisasi profesi AIPTLMI dan PATELKI. Berbagai pelatihan profesional seperti Clinical Instructor, K3 Laboratorium, hingga pengembangan soal uji kompetensi telah memperkuat kompetensinya dalam bidang akademik dan penjaminan mutu pendidikan.

Dalam bidang publikasi ilmiah, telah menghasilkan berbagai artikel penelitian pada bidang imunologi, penyakit infeksi, mikrobiologi, hingga kesehatan masyarakat, serta berkontribusi sebagai penulis chapter

book pada beberapa buku ilmiah. Pengalaman riset, publikasi, serta keterlibatan dalam peninjauan ilmiah menjadikan Editor berkomitmen untuk berkontribusi sebagai editor dalam memastikan kualitas naskah ilmiah yang akurat, sistematis, dan berbasis evidence.

BIOGRAFI PENULIS

1. **Maria Regina Tri Yonita, S.Si.T., M.K.M.,**



Lahir di Belitung, 15 Agustus 1997. Beliau menyelesaikan studi D4 Analis Kesehatan di Universitas Katholik Musi Charitas Palembang, kemudian melanjutkan program magister di Universitas Sebelas Maret Surakarta Jurusan Ilmu Kesehatan Masyarakat dengan minat utama Epidemiologi dan Biostatistik. Pengalaman didunia profesional, penulis mulai dengan menjadi staf laboratorium di Rumah Sakit Umum Daerah. Genap 2 tahun bekerja kemudian penulis mengabdikan diri untuk menjadi dosen tetap program studi D3 Analis Kesehatan, Universitas Sanz Magnatya Palembang. Beberapa buku ajar penulis yang sudah diterbitkan yaitu Buku Ajar Kimia Klinik 1, Kimia Darah Untuk Mahasiswa, Entomologi dan Pengendalian Vektor Penyakit, Bakteriologi 2 dan Patogenesis Infeksi.
Email : mreginatry@gmail.com

2. I Gede Andika Sukarya, S.ST., M.Imun



Lahir di Candikusuma, 23 Juni 1987. Jenjang pendidikan penulis meliputi DIII Analis Kesehatan, DIV Analis Kesehatan, dan Magister Immunologi di Universitas Airlangga

Saat ini penulis merupakan pengajar di D3 Teknologi Laboratorium Medik Poltekkes Kemenkes Kalimantan Timur

Karya Tulis:

- MODUL PRAKTIKUM IMUNOSEROLOGI, 2024. AIPTLMI. UNIMUS PRESS

3. Dr. Ifandari, M.Si.



Seorang akademisi dan peneliti di bidang biologi dengan kepakaran dalam biosains, mikrobiologi, serta pemanfaatan bahan alam sebagai agen terapeutik. Ia menyelesaikan pendidikan Sarjana (S-1) di Universitas Gadjah Mada pada tahun 2006. Pendidikan Magister (S-2) ditempuh di Universitas Sebelas Maret dan diselesaikan pada tahun 2011, dengan fokus kajian pada respons proliferasi limfosit pada organ limpa dan timus mencit BALB/C yang diinfeksi *Salmonella typhi* setelah pemberian ekstrak meniran merah (*Phyllanthus urinaria*). Selanjutnya, ia meraih gelar Doktor (S-3) dari Universitas Gadjah Mada pada tahun 2021 melalui disertasi yang mengkaji aktivitas sitotoksik dan antiproliferatif fraksi ekstrak rimpang ganyong (*Canna indica* L.) terhadap sel kanker kolon WiDr serta karakterisasi kandungan kimia fraksi aktifnya.

Dalam lima tahun terakhir, Dr. Ifandari, M.Si. aktif melaksanakan berbagai penelitian di bidang biomedis, khususnya terkait aktivitas antibakteri dan imunomodulator dari bahan alam. Penelitian yang telah dilakukan antara lain mencakup aktivitas antibakteri ekstrak etanolik daun jeruk terhadap *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa*, pengaruh ekstrak daun kayu putih terhadap profil leukosit dan berat limpa pada hewan uji, serta isolasi gen CatP dari *Salmonella typhi* dari pasien demam tifoid.

Selain kegiatan penelitian, beliau juga berperan aktif dalam pengabdian kepada masyarakat, meliputi program pemberdayaan masyarakat, edukasi kesehatan mengenai deteksi dini penyakit tidak menular seperti diabetes melitus, asam urat, dan hipertensi, serta kegiatan pencegahan penyakit leptospirosis.

Dalam bidang publikasi ilmiah, Dr. Ifandari, M.Si. telah menghasilkan sejumlah artikel yang diterbitkan pada jurnal nasional dan internasional bereputasi, yang membahas topik imunostimulan, aktivitas antibakteri, serta analisis fitokimia dan aktivitas sitotoksik tanaman obat. Ia juga aktif sebagai pemakalah dalam berbagai seminar ilmiah nasional dan internasional sebagai bentuk kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kesehatan.

Sebagai seorang akademisi, Dr. Ifandari, M.Si. berkomitmen untuk terus mengembangkan penelitian berbasis potensi sumber daya alam Indonesia guna mendukung kemajuan ilmu pengetahuan dan peningkatan kualitas kesehatan masyarakat.

4. Imam Agus Faizal, S.Tr.A.K., M.Imun.



Lahir di Pati dengan pasangan ayah, Suparmin dan Ibu, Munawaroh pada 15 Agustus 1993. Beliau merupakan Ahli Teknologi Laboratorium Medik (ATLM) dengan latar belakang pendidikan D4 Analis Kesehatan dari Universitas Muhammadiyah Semarang tahun 2015 dan S2 Imunologi dari Universitas Airlangga tahun 2018. Saat ini beliau beralamat di Perum Jalan Belimbing No. A7 RT 007 RW 003, Kelurahan Menganti, Kecamatan Kesugihan, Kabupaten Cilacap 53272.

Sejak tahun 2019, beliau mengabdikan sebagai dosen tetap pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Laboratorium Medis, Fakultas Farmasi, Sains dan Teknologi, Universitas Al-Irsyad Cilacap. Dalam perjalanan kariernya, beliau pernah menjabat sebagai Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Laboratorium Medis pada tahun 2019–2025 dan saat ini menjabat sebagai Wakil Dekan Fakultas Farmasi, Sains dan Teknologi Universitas Al-Irsyad Cilacap, Lektor, serta Wakil Ketua II DPC PATELKI Kabupaten Cilacap. Beliau juga aktif sebagai penulis soal seleksi guru ASN PPPK jenjang SMK TLM Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi pada tahun 2021–2024, editor Jurnal Meditory: The Journal of Medical Laboratory, serta reviewer pada beberapa jurnal dan prosiding ilmiah.

Dalam organisasi profesi dan akademik, beliau aktif sebagai Wakil Ketua II DPC PATELKI Kabupaten

Cilacap, pernah menjabat Ketua Bidang Pendidikan dan Pengembangan SDM DPC PATELKI Kabupaten Cilacap, serta menjadi Ketua Bidang Kerja Sama AIPTLMI Regional IV Jawa Tengah dan DIY. Selain itu, beliau berperan sebagai Pembina UKM Karya Ilmiah Mahasiswa Universitas Al-Irsyad Cilacap, Sekretaris Jaringan Penelitian Kabupaten Cilacap, dan pengurus PC ISNU Kabupaten Cilacap bidang Penelitian dan Pengembangan.

Sebagai akademisi dan praktisi pendidikan ATLM, beliau memiliki rekam jejak prestasi yang kuat dalam bidang penelitian, pengabdian, publikasi, dan pembinaan mahasiswa. Beliau memperoleh hibah nasional KEMDIKBUDRISTEK/KEMENDIKTISAINTEK tahun 2023–2026 sebanyak 3 judul penelitian dan 2 judul pengabdian sebagai ketua, menjadi dosen pendamping PKM Simbelmawa KEMENDIKBUD tahun 2022–2025 sebanyak 6 judul pendanaan bidang PKM-RE, serta membimbing mahasiswa yang meraih Best Paper Nasional pada 5th Wijayakusuma National Conference tahun 2024. Hingga saat ini, beliau telah menghasilkan 42 artikel nasional, 5 artikel internasional, 8 buku, dan 4 sertifikat Hak Kekayaan Intelektual. Kiprah beliau mencerminkan kontribusi nyata dalam penguatan pendidikan, riset, dan pengembangan profesi ATLM melalui PATELKI, AIPTLMI, publikasi ilmiah, karya buku, serta pembimbingan mahasiswa berprestasi.

SINOPSIS

Buku *Imunoserologi Klinis: Dari Prinsip Dasar hingga Inovasi Masa Depan* terdiri dari 4 bab komprehensif yang mengintegrasikan teori imunologi dengan aplikasi praktis laboratorium medis. BAB 1 menguraikan prinsip dasar sistem imun innate-adaptif, antigen-antibodi, reaksi imun, serta aplikasi serologi dalam diagnostik infeksi, autoimun, hormonal, dan alergi. BAB 2 membahas teknik deteksi seperti aglutinasi, imunokromatografi, ELISA, imunofluoresensi, dan immunoblot beserta verifikasi mutu. BAB 3 fokus aplikasi klinis pada diagnosis HIV, hepatitis B/C, sifilis, toksoplasmosis, dan dengue. BAB 4 menyoroti inovasi CLIA/ECLIA, multiplex immunoassay, POCT, biosensor, AI, serta tantangan implementasi, standardisasi, dan etika digital. Buku dilengkapi latihan soal, daftar pustaka, glosarium, dan biografi penulis untuk pembelajaran Teknologi Laboratorium Medis yang aplikatif dan berorientasi masa depan.

Imunoserologi dalam Diagnostik Laboratorium Medis

Buku **Imunoserologi Klinis: Dari Prinsip Dasar hingga Inovasi Masa Depan** terdiri dari 4 bab komprehensif yang mengintegrasikan teori imunologi dengan aplikasi praktis laboratorium medis. BAB 1 menguraikan prinsip dasar sistem imun innate-adaptif, antigen-antibodi, reaksi imun, serta aplikasi serologi dalam diagnostik infeksi, autoimun, hormonal, dan alergi. BAB 2 membahas teknik deteksi seperti aglutinasi, imunokromatografi, ELISA, imunofluoresensi, dan immunoblot beserta verifikasi mutu. BAB 3 fokus aplikasi klinis pada diagnosis HIV, hepatitis B/C, sifilis, toksoplasmosis, dan dengue. BAB 4 menyoroti inovasi CLIA/ECLIA, multiplex immunoassay, POCT, biosensor, AI, serta tantangan implementasi, standardisasi, dan etika digital. Buku dilengkapi latihan soal, daftar pustaka, glosarium, dan biografi penulis untuk pembelajaran Teknologi Laboratorium Medis yang aplikatif dan berorientasi masa depan.



PENERBIT
PT. Mustika Sri Rosadi

Citra Indah City, Bukit Heliconia AG 23/32, Desa Singajaya, Kecamatan Jonggol, Kabupaten Bogor.

ISBN 978-634-7535-91-7 (PDF)



9

786347

535917